¿Y si todo el universo estuviera en un libro?

El universo para Ulises

Juan Carlos Ortega

Planeta

Índice

A mi padre y a mi hijo, Ulises

Nota preliminar

La idea de este libro surge como consecuencia de dos historias de amor.

Una tiene que ver con algo antiguo, gigantesco y asombroso, cuya existencia se remonta a unos 13.700 millones de años. El universo, pese a su aparente frialdad, es capaz de generarnos extrañísimos sentimientos de afecto, tan próximos a lo que llamamos amor que siempre me ha costado mucho encontrar la diferencia.

La otra está relacionada con algo mucho más pequeño: Ulises, mi hijo, a quien me propongo explicar el universo en las páginas siguientes.

Felicidad

Querido Ulises:

El universo es un lugar rematadamente extraño. El problema es que no hay nada con lo que podamos compararlo. Solemos juzgar la rareza de las cosas en función de otras que nos parecen normales. Una bicicleta, un poema o una catedral gótica pueden resultarnos chocantes, pero sólo si hemos conocido bicicletas, poemas o catedrales góticas que no nos han llamado especialmente la atención.

Sin embargo, el universo parece escapar a esta ley basada en el sentido común. Lo consideramos asombroso a pesar de no haber visto jamás universos vulgares. La razón de esta aparente contradicción tiene que ver con nosotros mismos, porque lo cierto es que existe un universo anodino, prosaico y ramplón. Se trata del que todos tenemos instalado en la cabeza, el que asumimos sin hacernos demasiadas preguntas, dándolo todo por supuesto.

La perplejidad y el estupor nos invaden al ser repentinamente conscientes de que la idea del universo que nos habíamos construido no tiene nada que ver con la realidad, cuando comparamos lo que existe con lo que imaginábamos que existía.

Ese súbito aturdimiento que nos alcanza cuando aprendemos lo que la ciencia tiene que decirnos sobre el espacio, el tiempo y las galaxias es una de las mayores alegrías del mundo. Si escribo este libro es para ayudarte a que la sientas tantas veces como sea posible.

Ahora tienes cinco años y no puedes estar leyendo estas páginas. Te esperarán pacientemente hasta que seas mayor. Si he logrado cumplir mi objetivo, entenderás la esencia de las principales ideas que han ido aportando los mejores científicos de la historia, desde los griegos antiguos hasta los que aún caminan sobre nuestro planeta. Gracias a ellos hemos logrado obtener una imagen espectacular del cosmos.

Empezaré desde cero, imaginando que no sabes nada. Y así, poco a poco, sin que ni tú ni yo nos demos cuenta, acabaremos hablando de asuntos importantes. Todo será gradual, cariñosamente escalonado, desde la caída de una piedra hasta el origen del universo.

Ojalá pueda ayudarte y termines comprendiendo que la felicidad, en contra de lo que suele decirse, no está dentro de nosotros, sino ahí fuera.

Gira, pues, la página, y empecemos a mirar al exterior.

PRIMERA PARTE

El universo intuitivo

La Luna

La Luna está allí arriba, colgando de un modo que puede resultar incomprensible. Se ve bastante, y eso ha representado una gran ventaja para todos nosotros. Gracias a ella, pudimos ver por la noche cuando aún no disponíamos de iluminación eléctrica.



Sería fácil, por tanto, caer en la tentación de agradecer a Alguien o a Algo su presencia en el cielo. Después de todo, las cosas que nos son de mucha ayuda en la vida suelen ser percibidas como un regalo. Y la presencia de un regalo hace suponer de inmediato la existencia de un Regalador. Esta reflexión estuvo presente en la mente de muchos hombres y mujeres a lo largo de la historia, pero no se trata en absoluto de un pensamiento científico. En la naturaleza también existen cosas que nos fastidian la vida, incluso se producen fenómenos que, directamente, la aniquilan de un modo despiadado, y este hecho, curiosamente, no es utilizado casi nunca como una prueba de la ausencia de ese mismo Regalador. La Luna está. Luego veremos si su existencia precisa o no de una entidad superior a ella, pero por ahora, y a falta de más evidencias, digamos que se encuentra ahí, flotando, sin necesidad de que nadie nos la haya obsequiado.

Tú y yo la hemos visto juntos muchas veces. Parece que nos siga al caminar. Esto nos puede provocar la sensación de ser alguien excepcional. A todos nos gusta sentirnos únicos. No soportamos ser simplemente una parte pequeña en un universo que pasa por completo de nosotros. La Luna nos sigue. «Por algo será», pensamos llenos de satisfacción. Sin embargo, la explicación de este fenómeno es bastante sencilla y no implica en absoluto que seamos unos tipos magníficos, dignos de ser acompañados en todo momento por la majestuosa Luna, a modo de fiel sirvienta o como si estuviera rematadamente enamorada de nosotros. Se trata tan sólo de un fenómeno natural. Las cosas cercanas desaparecen rápido de nuestra vista, pero las que están más lejos parecen moverse con nosotros. Si vas en tren, por ejemplo, notarás que los árboles cercanos pasan a tu lado a toda velocidad, mientras que los que están situados a mayor distancia tardan más en desaparecer, acompañándonos un rato en nuestro viaje. Por eso la Luna, que está muy lejos, nos da la sensación de caminar con nosotros.

Cuando eras más pequeño, me preguntabas por qué ese astro se empeñaba en doblar contigo las esquinas. Yo te decía entonces que era para protegerte, que su misión era cuidar de ti y que por eso no quería quitarte el ojo de encima en ningún instante. Entonces, tú te llenabas de un magnífico orgullo, sintiéndote mimado por todo el universo.

Ya sé que se trataba de una mentira, que estaba comportándome contigo de un modo poco científico, pero tenías tres años y algo me provocaba la necesidad de responderte así.

Sin embargo, ahora eres mayor y me apetece contarte los hechos con más rigor. Perderás una parte de inocencia y cierta comodísima sensación de estar protegido por las fuerzas cósmicas, pero ganarás algo mucho más valioso: la alegría de razonar, la ilusión de saber que con nuestro pequeño cerebro los seres humanos somos capaces de entender, al menos en parte, este gigantesco y monumental disparate que nos rodea.

La necesidad de ser cuidados por el universo no es algo que sólo tienen los niños pequeños. Miles de adultos reclaman a gritos lo mismo, en cualquier lugar y durante todas las horas del día. Ése es el motivo por el que se venden a millones ciertos libros en los que se nos asegura, como si fuera una verdad demostrada, que todos estamos de algún modo secretamente conectados con el profundo cosmos. Son unos textos llenos de ingenuidades, comprensibles en un niño pequeño, claro que sí, pero en absoluto en un adulto hecho y derecho como en el que tú estás a punto de convertirte. En esas páginas pueden leerse frases como: «Siempre que un ser humano ansía algo, el universo entero le ayuda a conseguirlo», o también: «Cuando deseas algo con todas tus fuerzas, acabas obteniéndolo.» Si lo analizas con atención, verás que en esas palabras se esconde el mismo error infantil que te generaba el deseo de ser acompañado por la Luna, pero pintarrajeado ahora con una capa de barniz científico con el fin de hacerlo más creíble. Pero tú no hagas caso a esas cosas, Ulises. El universo, en realidad, y por mucho que nos pese, parece ir a su bola.

Te voy a contar algo relacionado con la Luna. Su mayor misterio aparente. Un asunto que ha llevado de cabeza a las personas más listas del mundo durante una buena parte de la historia de la humanidad. Será una excelente forma de empezar

nuestro recorrido por todo el universo.

El primer misterio

Intenta recordar la última vez que la viste. Es profundamente hermosa, de un color plateado y gris. Odio ponerme lírico, ya lo sabes, pero esa cosa ahí suspendida te provoca que lo seas, incluso sin que te apetezca de un modo especial. Si te fijas bien en ella, observarás que tiene ciertas manchas oscuras, como si, por descuido, se hubiera vertido un poco de pintura que estaba destinada a colorear otro astro. Pero incluso esas irregularidades le quedan bien. Es como esas chicas que te hacen perder la cabeza y que son guapas se pongan lo que se pongan. Igual que ellas, difícilmente podría haber sido más bonita de lo que es. No debe extrañarte que los poetas de todo el mundo hayan escrito centenares de miles de versos en los que nuestro satélite es el protagonista indiscutible. Forma parte de esos elementos íntimamente unidos a la historia de la literatura. En ocasiones, los poetas han hablado de la Luna sólo para ligarse a una chica, o a un chico, no nos engañemos, pero también resulta evidente que esa lejana esfera ejerce una fascinación absolutamente sincera. A veces tiene una forma curiosa, que la hace parecer una cuna o una sonrisa ladeada, y en ocasiones se presenta redonda por completo, como la rueda de un coche. Pero lo más sorprendente es que nunca se cae al suelo. ¿Por qué?

Ésta es una de esas preguntas fundamentales que solemos hacernos cuando somos pequeños. Se caen las piedras cuando las soltamos, y los bolígrafos, y las pelotas, y las hojas de los árboles. Todo, absolutamente todo, sin excepción, tiende hacia el suelo, como si una poderosa mano invisible arrastrara los cuerpos hacia abajo, o como si la superficie de nuestro planeta tuviera una extraña avaricia que le hiciera retener los objetos a toda costa. Aristóteles, un filósofo del que te hablaré más adelante, suponía que las cosas caen al suelo porque el suelo es su hogar. Caerse, para él, era una forma de regresar a una casa situada en el centro, más o menos como cuando tú vuelves a la tuya después de estar todo el día en el colegio. En ese sentido, los objetos que tú lanzas al aire tendrían cierta voluntad y un difuso poder para tomar decisiones. Serían como personitas, o tal vez animales pequeños, duros y densos. Como resulta obvio, esta idea es un gran disparate, pese a poseer cierto encanto poético. La palabra *hogar* y la expresión *querer regresar* son conceptos exclusivamente humanos y no tienen nada que ver con el modo impersonal en que funciona nuestro extrañísimo universo.

En cualquier caso, Ulises, es un hecho que todo cae, cualquier cuerpo es atraído por la Tierra, lo queramos o no. Parece ser una ley que siempre es obedecida, sin que nada ni nadie pueda jamás violarla, pero la Luna, que se ve tan grande y que debe de pesar tantísimo, parece burlarse de esta obligación y se aguanta flotando en el cielo, desafiante y orgullosa, como una reina a la que las leyes del pueblo parecieran no afectarle.

Conozco a muchas personas razonablemente inteligentes que no sabrían dar una explicación a este fenómeno, pese a que resulta ser algo muy sencillo para los científicos. Casi todos nos hemos acostumbrado a ver la Luna cuando paseamos por la noche, a maravillarnos por su brillo y a emocionarnos con su encantador misterio; tal vez en ocasiones incluso nos hemos preguntado por qué está flotando allá arriba, qué diablos la sujeta para que no se estampe con violencia contra el suelo, destrozando nuestras ciudades y aniquilándolo todo, pero al momento hemos dejado de pensar en ello. Simplemente, lo damos por supuesto. Las personas nos comportamos así muchas veces, y eso no es algo que deba enorgullecernos. Tenemos destellos de estupor que se nos pasan demasiado deprisa. Flipamos con las cosas a ratos, a ráfagas, nos invade el misterio por unos instantes, para regresar inmediatamente a un mundo de certezas, de cosas sabidas, a una realidad que ha dejado de sorprendernos.

Los niños, dicen, tenéis ese poder para fascinaros. Se nos asegura que ese estupor desaparece con el tiempo, pero eso es algo de lo que nunca he estado demasiado seguro. Creo, sinceramente, que la capacidad para asombrarnos no depende de la edad, sino de nuestra forma de ser y, tal vez en parte, de nuestra inteligencia. Te aseguro que he conocido a niños que no se asombraban por nada, y a adultos estupendos que estaban todo el día sumergidos en un profundo y fantástico estupor. La falta de esa capacidad para asombrarnos es algo que nos debería entristecer a todos.





Izquierda: Pintura de Donato Creti, del año 1711. Derecha: Fotografía de la llegada del hombre a la Luna.

Otro asunto que tampoco ha de hacernos felices es que, para muchos seres humanos, la Luna, como objeto físico, no tiene nada que ver con la cultura. En ese sentido, sólo resulta de interés cuando es utilizada por algún célebre artista para construir con ella metáforas más o menos acertadas, o para plasmarla en un óleo sobre lienzo, pero su aspecto científico es radicalmente ignorado. Para la cultura, es más

importante saber lo que escribió sobre nuestro satélite Dante que lo que descubrió Isaac Newton. Cualquier viaje poético a la Luna parece más profundo que el primer viaje físico a ella, en un cohete extraordinario y precioso, cuando yo tenía un año, en 1969. Ése es el triste motivo por el que podemos ignorar por qué la Luna no se cae al suelo y, pese a ello, seguir siendo considerados por todos como chicos y chicas perfectamente cultivados.

Cuando vamos al colegio nos dicen que la Luna, además de no caerse, gira alrededor de la Tierra. Eso parece complicar las cosas todavía más. Que estuviera parada ya era inquietante, pero que además dé vueltas alrededor de nuestro planeta como en una especie de danza eterna parece algo lleno de un misterio impenetrable. ¿Qué es lo que le provoca el movimiento? No se ve ningún motor. Ni tampoco se divisa a nadie que la empuje con una mano gigante. Debe ser algo invisible, eso está claro. Pero ¿qué? Lo invisible, inconscientemente, tendemos a relacionarlo con la magia. Los magos hacen desaparecer cosas sin que advirtamos el truco. «Tal vez ahí arriba viva un Gran Mago», nos vemos tentados a pensar. Resulta casi comprensible que, en un momento de debilidad, acabemos suponiendo que todo es una cuestión inexplicable.

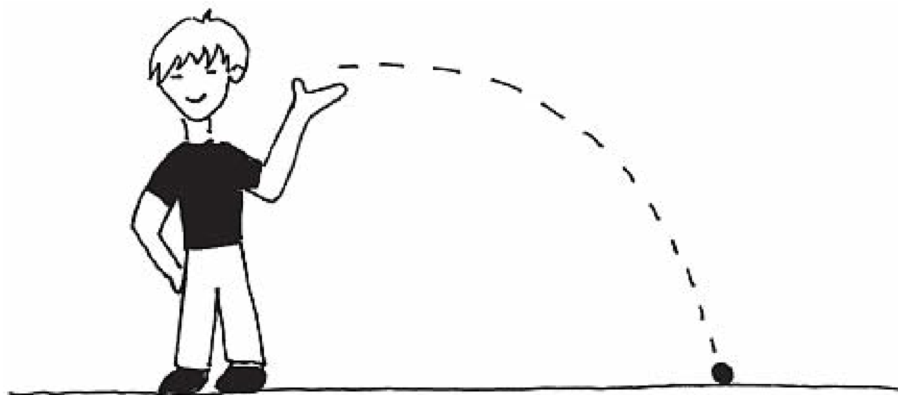
Pero puede entenderse. Comprender el funcionamiento del mundo parece estar a nuestro alcance, y eso es algo profundamente misterioso. El gran científico Albert Einstein, del que también te hablaré más adelante, dijo en cierta ocasión que lo más incomprensible del universo es que sea comprensible. Léete la frase varias veces, tantas como necesites hasta notar en la espalda un remoto escalofrío de extrañeza. A este sabio le maravillaba el hecho de que nosotros, que al parecer estamos aquí sin un motivo claro y sólo para comer, crecer y reproducirnos (cuando hay suerte), tengamos un cerebro que puede llegar a desentrañar los misterios más profundos. La capacidad humana para comprender la realidad es, tal vez, más inquietante que la misma realidad. Dentro de unos minutos tú entenderás por qué gira la Luna. Comprenderás la razón de ese movimiento circular alrededor de nuestro planeta. Sabrás por qué esa inmensa bola rocosa, inspiradora de poetas y científicos, da vueltas en torno a la Tierra. Es tan sencillo que emociona. Cuando hemos llegado a pensar que nunca podremos comprender un hecho y, de repente, como un fogonazo, lo entendemos, sentimos una emoción que se parece muchísimo a la que experimentan los artistas o esos enigmáticos monjes orientales. Ahora la notarás tú también. Sólo has de prestar un poquito de atención. El esfuerzo valdrá la pena. Confía en mí.

Empecemos por lo que sabemos.

Las cosas caen

Eso es algo que parece no sorprendernos. Coges una piedra del suelo, la levantas con la mano, la sueltas y se cae. Se trata de un hecho que hemos experimentado miles de veces a lo largo de nuestra vida, tanto de forma intencionada como por accidente (en

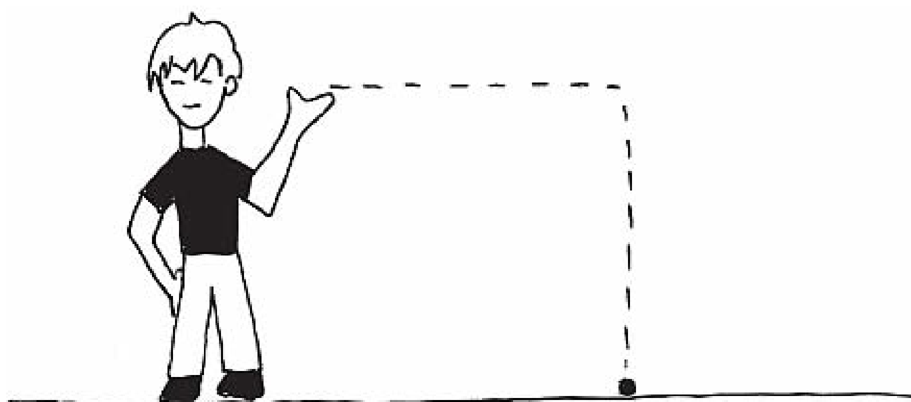
ocasiones las cosas se nos caen sin que lo tuviéramos previsto). Sea como fuere, resulta algo bastante natural. Lo sabemos intuitivamente desde que somos un bebé. Más tarde veremos que la intuición, en ocasiones, no es demasiado fiable, pero de momento vamos a actuar como si lo fuera.



Algo que también entendemos sin demasiado esfuerzo es que, cuando lanzamos una piedra, ésta recorre una distancia antes de caer. Resultaría francamente extraño que empezara a subir y luego a bajar durante un buen rato, como si estuviera unida a un muelle invisible, o que le diera por efectuar giros insólitos de manera azarosa. Nada de eso. La lanzas, hace un recorrido, y cae. Siempre así, sin sorpresas, de un modo por completo previsible. Y, al hacerlo, traza en el aire una línea curva imaginaria, como la del dibujo anterior.

A esta curva, los matemáticos la llaman *parábola*. Da igual su nombre; lo importante es que sepas que tiene esa forma, y eso es algo que tú mismo puedes observar saliendo a la calle y lanzando una piedra.

Si llevas a cabo ese simple ejercicio y ves en el aire el dibujo de esa curva, habrás superado, sin darte cuenta, al mismísimo Aristóteles. Este hombre, muy inteligente en todo lo demás, escribió en un libro titulado *Física* que los objetos lanzados al aire, como el de nuestro dibujo, recorren una distancia en línea recta, paralela al suelo, para después caer de golpe verticalmente cuando se les termina la fuerza.

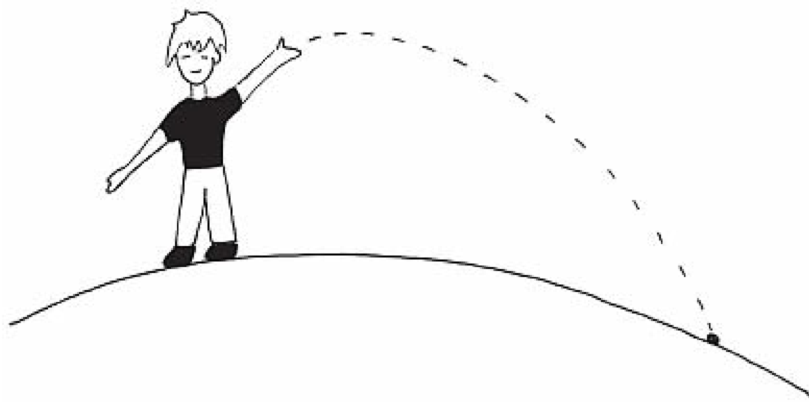


Él pensaba eso porque nunca se le había ocurrido fijarse en lo que de verdad sucede, aunque le hubiera resultado bastante sencillo. Sólo hubiese tenido que decirle a un amigo: «Oye, Platón, tira una piedra, por favor, que voy a alejarme un poco para ver qué dibujo traza en el aire.» Y Platón, que era un buen tipo, si no hubiera tenido otra cosa que hacer en ese momento, le habría contestado: «Por supuesto, Aristóteles, ahora mismo la tiro. ¿Te va bien aquí, o me sitúo un poco más lejos?» Y entonces, Aristóteles, en sólo tres segundos, habría visto que esa línea era una parábola y no dos feísimas rectas perpendiculares. Podría haberlo dejado escrito en su fantástico libro y todos le hubiéramos estado profundamente agradecidos.

Pero jamás se le ocurrió pedirle eso a Platón, ni a ninguno de sus muchísimos e influyentes amigos. Experimentar, ver la realidad y fijarse en ella era algo que él consideraba poco elegante, pese a haber pasado a la historia como uno de los hombres que por primera vez apostaron por la experimentación, una contradicción que se entiende si sabemos que su amigo Platón (que además fue su maestro) era todavía más radical que él. En su caso, experimentar, ni a ratos. Jamás. Le daba como asco. Aristóteles no era tan exagerado, y aunque consideraba que la realidad no tenía que ser observada minuciosamente a todas horas, sí podía serlo de vez en cuando, en aquellas ocasiones que a él le parecieran oportunas. Hacerlo de un modo continuado era propio de mentes de baja calidad. Lo prestigioso era pensar, reflexionar ajeno al mundo, utilizar la mente de forma pura y sin contaminación para llegar a conclusiones incuestionablemente ciertas. Por supuesto, estaba equivocado, pero durante varios siglos todo el mundo dio por supuesta esta hipótesis aristotélica. El sabio tenía un gran prestigio y se consideraba una verdad absoluta todo lo que él hubiera dejado escrito.

Pero un buen día, varios siglos después, alguien que no se creía las cosas tan sólo porque un sabio las hubiera dejado impresas en un pergamino, tiró una piedra, observó su trayectoria y vio que el antiguo griego estaba equivocado de pies a cabeza. Ese tipo era nada menos que Galileo Galilei, y por primera vez se dejó recogido en un texto científico lo que cualquier persona curiosa hubiera podido constatar por sí misma echando simplemente un vistazo: la presencia de la parábola, la curva que forman los objetos en el aire cuando son lanzados.

Más tarde te hablaré de Galileo, porque lo cierto es que fue una persona francamente interesante, uno de esos individuos sin los cuales el mundo que conocemos sería bastante más desagradable de lo que es. Pero ahora continuemos con nuestro experimento. Imagina que tiras la piedra un poquito más lejos. Para hacerlo, solamente tienes que darle algo más de impulso. Cuanto más fuerte la lances, más lejos llegará; eso sin duda también te lo dice la intuición.



No te pondré en el compromiso de pedirte que la tires todavía más lejos, pero sí te voy a proponer algo. Ahora tú dejas de ser tú y te conviertes en un superhéroe con una fuerza fabulosa, más fuerte aún que Spiderman, el tipo que ahora, mientras estoy escribiendo este libro, te tiene francamente impresionado. En tus brazos tienes tanto poder que eres capaz de enviar cualquier proyectil a la distancia que consideres oportuna. Tan lejos como te dé la gana. No hay límites para ti. Todo el mundo te conoce como el superlanzador de objetos más fuerte del planeta Tierra, y has logrado amasar una auténtica fortuna demostrando tu habilidad por todos los continentes. Te contratan en espectáculos y tu vida ha dado un giro radical. Eres rico y famoso, y todas las personas te dicen, con buena intención, que tengas cuidado porque el dinero puede volverte rematadamente loco. De este modo, y gracias a tu nuevo poder, eres capaz de lanzar la piedra a una distancia espectacular.

Verás que en los dibujos anteriores el suelo era una línea recta, pero ahora aparece ligeramente curvado. Eso es así porque he querido representar un trocito del planeta Tierra, que, como sabes, es esférico. Más tarde te contaré cómo y quién lo descubrió, pero de momento confía en mi palabra y acepta que vivimos encima de una gigantesca bola azulada.

La piedra ha llegado desde España hasta Italia, cruzando el mar Mediterráneo y cayendo cerca del lugar en el que Galileo hacía sus experimentos en el siglo XVII. La línea imaginaria que el proyectil ha efectuado en el aire sigue siendo una parábola, aunque ahora es muchísimo mayor.

Como ya estás habituado a tu nueva y extraordinaria fuerza muscular, podemos jugar a ir más allá. Te dibujaré el planeta Tierra al completo. Me encanta hacerlo desde que era pequeño. Creo que por ahí debo tener varias libretas llenas de esferas terrestres de cuando tenía unos diez años.

Si te fijas detenidamente en el siguiente dibujo, vas a lograr una proeza que nunca nadie antes había conseguido.



La piedra ha caído en Nueva York, justo al lado de un precioso rascacielos. No está mal para haberlo hecho con un brazo. Verás que la trayectoria que describe tu proyectil no ha abandonado el planeta, sino que ha sido curvada por él. Esto es perfectamente comprensible, ya que el suelo estadounidense también atrae las cosas. Sería muy extraño que ese país fuera el único de la Tierra en el que los objetos decidieran no estamparse contra las aceras. Un turista belga ha tenido que ser hospitalizado con un ataque tremendo de ansiedad porque el proyectil ha golpeado en la cabeza a su perrito, un caniche diminuto al que había vestido ridículamente como si fuera un bebé.

Si observas bien el dibujo, verás que la curva que describe la piedra al caer es casi circular. Es lo que tienen las parábolas, que si las vas cerrando terminan convirtiéndose en círculos. Aquí encontramos una primera pista que podríamos traducir en la afirmación genial que nos regaló un hombre portentosamente inteligente llamado Isaac Newton: si tiro la piedra todavía con más fuerza, sin duda regresará a mí.



En efecto, Newton tenía razón. Si la piedra es lanzada con el impulso adecuado, volverá al mismísimo lugar del que partió.

Imagínate la emoción que debió de sentir Newton cuando dedujo esto, siendo además consciente de ser el primer ser humano que lo hacía desde que adquirimos el extrañísimo deseo de comprender a fondo el funcionamiento de nuestro mundo.

En ausencia de aire, la piedra daría vueltas y más vueltas a la Tierra, porque nada la frenaría. Al llegar al punto de salida manteniendo la misma velocidad, nada le impediría efectuar un nuevo giro completo, y luego otro, y otro más, de manera continuada.

La Luna es una piedra gigante. ¿Y si girara alrededor de la Tierra *por el mismo motivo* que la piedra de nuestro ejemplo? ¿Por qué no iba a ser así? Lo que es válido para un trocito de roca, debe serlo también para una roca completa.

Además, hay algo que debemos tener en cuenta. Fuera, en el espacio, no hay aire. Éste sólo se encuentra en la atmósfera, y por la zona en la que la Luna gira ya no queda el más mínimo rastro de ella. Por tanto, esa inmensa bola gris y plateada que pintó Donato Creti podría girar sin que nada pudiera afectarla. ¿Es eso lo que ocurre? ¿Es la Luna como la piedra con la que hemos estado jugando, sólo que mucho mayor y situada a una distancia extraordinaria? Newton, el inteligentísimo científico inglés, respondió a esta pregunta con un rotundo «sí».



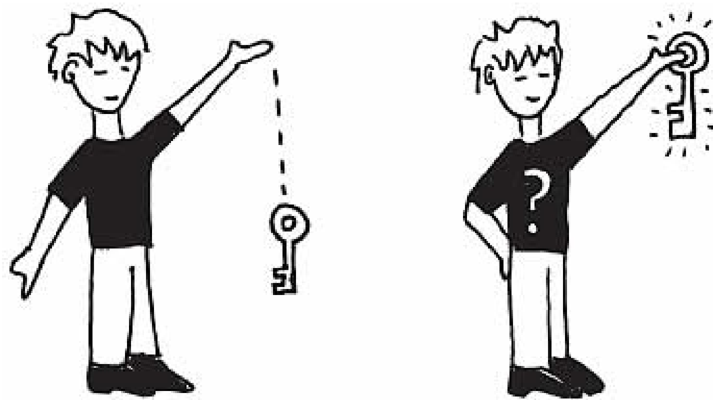
La Luna, al igual que nuestra piedra, no se cae porque *siempre está cayendo*. Y lo hace porque su velocidad es exactamente la que se necesita para volver al mismo punto de salida, una y otra vez, siempre igual, machaconamente, durante siglos.

¿Quién o qué puso en movimiento la Luna por primera vez? Es una buena pregunta y, aunque parezca insólito, la ciencia tiene una respuesta excelente. Más adelante te hablaré de ella, pero de momento mira esto:

GENERALIZAR

Esta palabra es muy importante para entender la ciencia. Se trata solamente de once letras, pero significan muchísimo. La generalización es, tal vez, la herramienta más poderosa que manejan los científicos para avanzar en la comprensión del universo. De hecho, es uno de los fundamentos que se esconden en la base de su trabajo, aquello que de algún modo ayuda a definir lo que hacen desde que se levantan hasta que se acuestan.

Te pondré un ejemplo de generalización para que lo comprendas.



En el dibujo de la izquierda se te ve tirando al suelo una llave de latón. Es el material del que mayoritariamente están hechas esas cosas que nos ayudan a abrir las puertas. Tirar llaves de este tipo es algo que tú has hecho, un fenómeno que has experimentado y, por tanto, una cosa que sabes de sobra. Sin embargo, jamás has tirado al suelo una llave hecha de oro puro, como en el dibujo de la derecha.

Si te pregunto si esa llave de oro cae al suelo igual que lo hace la de latón, estoy seguro de que me responderás afirmativamente. Pero ¿cómo lo sabes, si jamás has tirado al suelo una llave de oro puro? Algo te dice que debe ser así, que lo que es válido para una llave de latón ha de serlo para todas las llaves del mundo. A ese proceso se le llama *generalización*, y al emplearlo te has convertido, sin saberlo, en un auténtico científico.

Y ahora verás por qué te digo todo esto.

El Sol

La Tierra gira alrededor del Sol. Eso es algo que también inquieta a muchísima gente, aunque te aseguro que he visto a personas, incluso con estudios, que no lo tienen demasiado claro. Aunque resulte increíble, la mayoría de los seres humanos del planeta creen que lo que ocurre es precisamente lo contrario: que es el Sol el que, obedientemente, gira alrededor de nosotros.

En cualquier caso, se trata de un fenómeno inquietante, aunque algo me induce a pensar que ahora mismo a ti te sorprenderá un poquito menos. ¿Por qué? Muy sencillo. Acabas de entender el motivo por el que la Luna gira alrededor de la Tierra. Eso te

hace jugar con cierta ventaja. Parece obvio considerar que esa explicación ha de ser la misma para comprender por qué la Tierra gira alrededor del Sol. ¿Por qué iba a ser distinto si se trata de bolas que giran alrededor de bolas? ¿No es lógico conjeturar que hay una misma explicación para todas ellas?



¿Te das cuenta? Acabas de hacer una generalización.

Cosa que ya sé: Las llaves de latón caen al suelo.
Generalización: Todas las llaves caen al suelo. Las llaves de oro son otro ejemplo de ello.

Cosa que ya sé: La Luna gira alrededor de la Tierra porque su velocidad la hace llegar siempre al punto de partida sin caerse.
Generalización: Todos los cuerpos que giran en el espacio alrededor de otros cuerpos lo hacen porque su velocidad los hace llegar siempre al punto de partida sin caerse. La Tierra girando alrededor del Sol es otro ejemplo de ello.

¿Te gusta este concepto que acabas de aprender? Aunque te parezca poca cosa, te aseguro que tiene una enorme importancia. Gracias a la generalización tenemos todas esas comodidades que nos hacen la vida un poco más llevadera. La civilización moderna, con sus ordenadores y sus teléfonos inteligentes, con sus lanzaderas espaciales, sus satélites y sus consolas de videojuegos, está basada en esa idea de apariencia tan sencilla. Sin la posibilidad de generalizar, de ensanchar el conocimiento y el mundo, deberíamos estar empezando continuamente, una y otra vez, siempre partiendo de cero. No tendríamos más remedio que lanzar al aire llaves de todos los materiales para estar seguros de que todas ellas caen de igual modo. Y al terminar con las llaves, deberíamos hacer lo propio con otros objetos. Por ejemplo, los libros.

Libros de todos los autores, de todos los idiomas y temáticas. ¿Por qué no? Sin generalización no sabríamos, por ejemplo, si los libros de escritores franceses son atraídos por la Tierra del mismo modo que los volúmenes redactados por autores ingleses. Este ejemplo, que puede parecerte una broma, sería un fiel reflejo de la realidad si no existiera en nuestro cerebro la magnífica idea de generalizar, ese atajo gracias al cual podemos avanzar a una velocidad inmensa.

Sin embargo, en la vida diaria la generalización no está del todo bien vista. Siempre que alguien hace una afirmación que afecta a un colectivo, las críticas surgen al instante. En muchísimas ocasiones, esa reticencia está justificada, claro está, pero también es cierto que solemos olvidar el tremendo poder que tiene nuestro nuevo instrumento. Imagina, por ejemplo, que Isaac Newton está charlando con un grupo de amigos. El genio, lleno de entusiasmo, desea comunicarles su nueva hipótesis acerca del funcionamiento del mundo. Alzando la voz y lleno de confianza en sí mismo afirma: «Todos los cuerpos son atraídos por la Tierra...» Antes de que pueda concluir su frase, un tipo quisquilloso que hasta ese momento estaba escuchándolo con atención se levanta y dice muy enfadado: «No generalices, Isaac. El mundo no es o blanco o negro. Querrás decir *algunos* cuerpos, no *todos*.»

Obviamente, este último comentario es injusto. La suspicacia a la generalización se ha convertido en un tópico en el que deberíamos pensar detenidamente.

De todas formas, resulta claro que hay que saber manejar inteligentemente esta nueva herramienta. Hemos de detectar algo común en la base de aquello que queremos generalizar. En este caso, lo común es *la masa*. El oro y el latón tienen masa, y es esta propiedad la que provoca la atracción, como verás un poco más adelante.

Tienes motivos para estar contento, pero no te conformes con lo que ya has aprendido ni te relajes creyendo que ya sabes muchas cosas. Así no ha avanzado el mundo, te lo aseguro. Por tanto, demos un paso más. Cuando uno ya se ha ejercitado caminando, le apetece más caminar. Pasa con casi todo. La cosa es ponerse, quitarse la pereza de encima y lanzarla lo más lejos posible. Para ello, abandonemos un momento la Luna y el Sol y echemos un vistazo más amplio. Demos unos pasitos cósmicos hacia atrás y veamos el conjunto con mayor amplitud. De repente aparecen otros planetas.

El sistema solar

En el colegio, si seguimos prestando atención —cosa que a veces resulta imposible—, nos cuentan que la Tierra está situada en lo que se llama *sistema solar*. Alrededor del Sol no gira solamente nuestro planeta. Lo hacen, además, otros: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

Parece lógico pensar, utilizando nuestra nueva herramienta llamada generalización, que el motivo por el cual todos esos planetas orbitan alrededor de nuestro Sol debe ser el mismo.



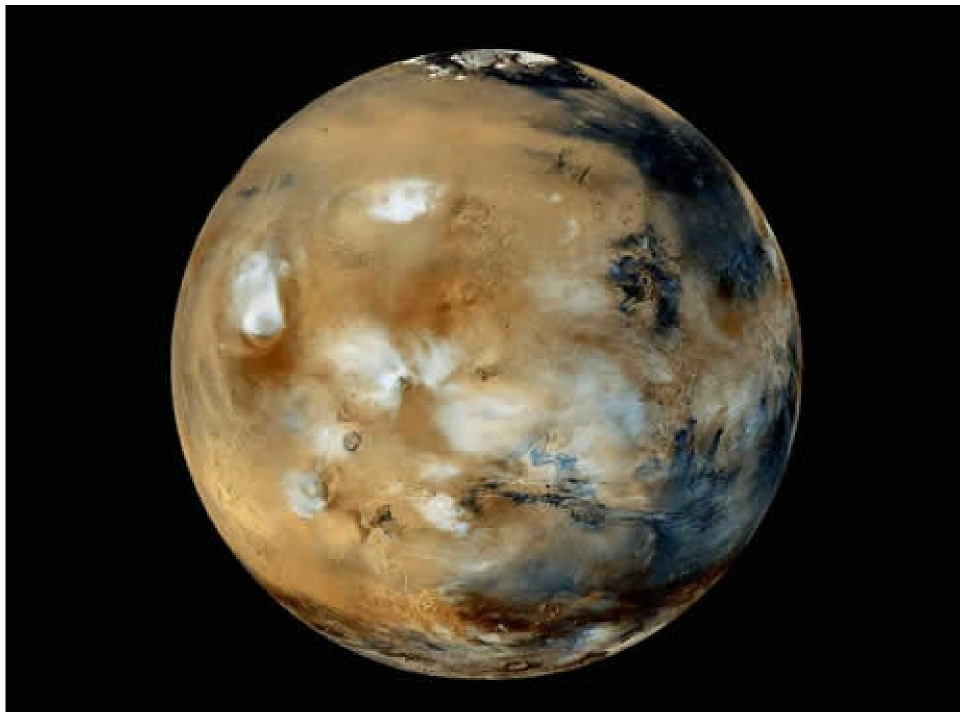
En esta imagen están todos los planetas, danzando de un modo que antes nos parecía inexplicable. Mercurio y Venus, dos astros cuyas temperaturas son terriblemente elevadas debido a que están muy cerca del Sol; la Tierra, nuestro magnífico hogar verde y azul lleno de señores rarísimos que dicen cosas insólitas en los telediarios; Marte, el planeta de color rojo que inspiró los sueños de civilizaciones extraterrestres; Júpiter, un gigante blando hecho de gas; Saturno, esa preciosidad adornada con anillos formados por trocitos de hielo, y Urano y Neptuno, mundos tremendamente distantes. Todos ellos giran alrededor del Sol por el mismo motivo que la piedra que hemos dibujado al principio giraba alrededor de la Tierra.

Hemos empezado imaginando el lanzamiento de una piedrecita y terminamos comprendiendo el movimiento completo del sistema solar. Los seres humanos no tenemos otro modo de comprender las cosas. Hemos nacido en este planeta, estamos atados a su superficie, al menos por ahora, y todos nuestros pensamientos deben empezar aquí, utilizando para nuestros juegos mentales los elementos que nos son familiares (piedras, hojas de árboles, flores, gotas de agua) y otros imaginarios (brazos de Spiderman, llaves de oro) para después generalizar y expandir nuestras ideas por todo el universo.

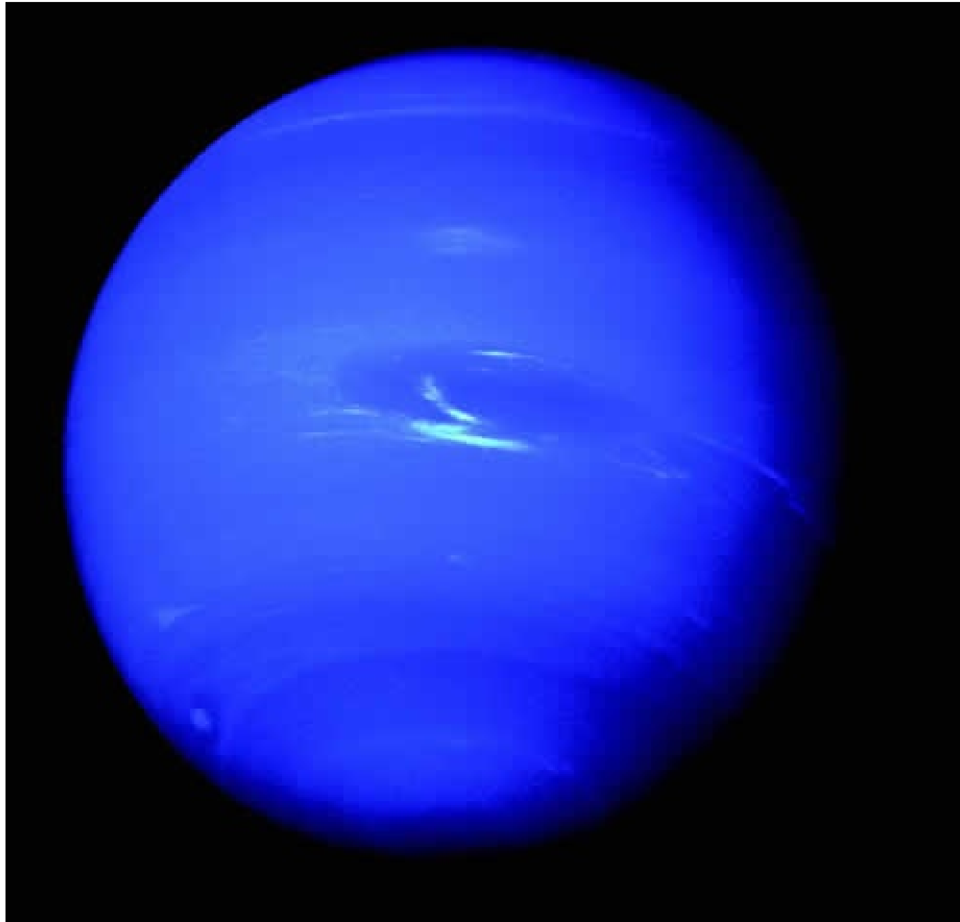
Eso es algo estupendo. No quiero darte la imagen de un loco emocionado, pero estoy seguro de que si tú lo piensas bien acabarás dándome la razón, porque se trata de algo cuya belleza todos podemos captar sin demasiado esfuerzo. Nuestro poder es extraordinario. Basándonos sólo en la observación de las cosas que nos rodean, podemos llegar tremendamente lejos. Se trata de jugar con los materiales que nos son próximos. No hace falta ir más allá de momento. Los científicos han hecho esto desde que empezaron a pensar con rigor y profundidad acerca del mundo y su funcionamiento. Ellos, como tú, también han vivido siempre aquí, en esta casa gigante llena de árboles y edificios que llamamos planeta Tierra. Newton también. Fue uno de los nuestros. Muy listo, claro está, pero uno de los nuestros. Y eso es lo rematadamente emocionante. Él no tuvo una mansión en el centro del sistema solar, no disponía de un lugar privilegiado desde cuyo balcón pudiera observar el cosmos de forma ventajosa. Poseía una casa como nosotros, y vestía pantalones y calzaba zapatos, y se peinaba perezosamente por las mañanas. Desayunaba, comía, cenaba, orinaba, hacía caca, se quedaba dormido en los sillones de vez en cuando y se rascaba la cabeza cuando le picaba. Era como tú, como yo y como todos tus amigos. Los genios no levitan, no tienen poderes divinos, sino poderes extraordinarios, algo que,

por desgracia, muchas personas tienen tendencia a confundir. Isaac Newton supo adaptarse a lo que tenía, investigando con lo que pudo, con lo que veía y tocaba, y añadiendo a todo eso su poderosa y atractiva imaginación. Y lo hizo fabulosamente bien. Empezó como lo hicimos nosotros, con humildad, mirando las cosas, fijándonos mucho, imaginando diminutos trocitos de piedra rodando por el mundo y especulando después sobre si lo que era cierto para ellas también lo sería para piedras gigantes. Y demostró que sí, cambiando para siempre la imagen que tenemos del universo. Gente así sí merece la pena, y podría existir mucha más si no tuviéramos metida en la cabeza la ridícula idea de considerar la ciencia como algo despegado de la cultura.

En cierta ocasión, Newton dijo que se sentía como un niño pequeño sentado en la orilla de una playa, entreteniéndose con una concha o un guijarro, mientras el gran océano de la verdad continuaba frente a él, todavía por descubrir.



Marte.



Neptuno.

La idea de aprovechar lo que encontramos a nuestro alrededor provoca que podemos pasar misteriosamente de lo pequeño a lo grande, de las explicaciones simples a las más complejas, de las piedrecitas al majestuoso sistema solar. Ése es el auténtico espíritu de la ciencia y todo lo demás, te lo aseguro, son cuentos inventados.

El profundo gran porqué

Las dudas respecto al comportamiento de la naturaleza no son todas iguales. Algunas resultan más profundas que otras. Casi podríamos decir que la realidad se comporta como una de esas fotografías digitales que podemos ampliar si acariciamos la pantalla con los dedos. Siempre es posible agrandarla para visualizar un porqué más diminuto, pero también más sustancial, más inquietante y de más difícil acceso.

La explicación que has aprendido del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra y de ésta y el resto de los planetas en torno al Sol es un porqué menor, práctico, casi de sentido común. Siempre damos algo por sentado que debe ser cuestionado en

la siguiente ampliación fotográfica. En este caso, lo que aceptamos sin más es que las cosas han de caer al suelo *porque sí*, y con esta premisa que no hemos cuestionado para nada has logrado entender ese movimiento circular.

Pero la fotografía nos muestra otra ampliación, la siguiente, y te garantizo que ésta es mucho más inquietante. Aquí encontramos la pregunta de por qué las cosas caen.

Fíjate qué curioso. La duda fundamental con la que hemos iniciado este libro era: «¿Por qué no se cae la Luna como lo hacen las piedras que lanzo al aire?», y hemos olvidado la pregunta: «¿Por qué se caen las piedras?»

El primer hombre que hizo un estudio profundo sobre este asunto fue también Isaac Newton, como no podría ser de otra manera. Tuvo la necesidad de responder a esa inquietud que había traído de cabeza a buena parte de los seres humanos inquietos que poblaron el planeta antes que él. Y por ese motivo ha pasado a la historia como uno de los científicos más brillantes de todos los tiempos.

Newton no llegó a contestar jamás a la pregunta de por qué existe esa fuerza que atrae los objetos hacia la Tierra. No veas en eso una falta de inteligencia por su parte. Lo que hizo fue también espectacular. No nos dijo *por qué*, pero nos explicó *cómo*.

La ciencia hace también eso. Los *cómo* en ocasiones son tan importantes como los *porqués*, y siempre son el preludio de estos últimos. Vamos, pues, a centrarnos en cómo caen las cosas.

Me dirás, probablemente, que caen hacia abajo. Ésa no es la respuesta que esperaba Newton, pero te aseguro que no se trata de ninguna tontería. Siempre hay que empezar por algo, y decir que los objetos *caen hacia abajo* es el primer peldaño que conduce a la gran respuesta.

Newton cerró los ojos e imaginó la simple caída de un cuerpo. Una piedra le resultó útil. Intentó entonces hallar la explicación a ese fenómeno analizando las cosas que había allí. Si tratas de dar respuesta a un crimen es bueno que visualices mentalmente a los principales sospechosos. Aquí, en este ejemplo, sólo hay dos: el planeta Tierra y la piedra que cae.

Newton se preguntó qué podía pasar entre ellos. La primera respuesta fue la evidente: la Tierra atrae la piedra. Pero no se conformó sólo con eso y se planteó algo más: ¿por qué es la Tierra la que atrae la piedra y no la piedra la que atrae la Tierra? Después de todo, nuestro planeta es una piedra grande. Y si una piedra grande atrae, no hay razón para que una pequeña no lo haga. Es una reflexión excelente que sólo podía ser formulada por alguien capaz de escaparse del sentido común y los moldes mentales. Ciertamente, ¿y si fuera la piedra la que ejerciera un poder de atracción sobre la Tierra?

La primera respuesta que se le vino a Newton a la cabeza fue la siguiente: la Tierra es más grande. Por tanto, lo lógico es que sea ella la que tenga más fuerza para atraer. Y fue aquí, en este punto exacto de la cadena de razonamientos, cuando se produjo la auténtica revolución científica del siglo XVII, el suceso histórico que, con el tiempo, haría que tuviéramos cohetes espaciales y viajáramos hasta la Luna.

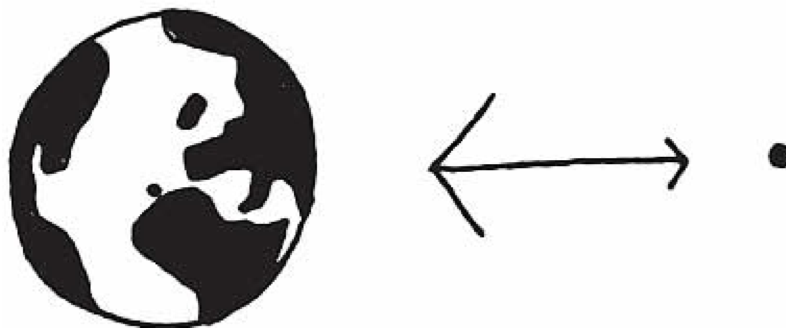
¿Por qué? Muy sencillo. Si decimos que la Tierra, al ser más grande, tiene más razones para atraer la piedra, con ello estamos lanzando la genial hipótesis de que las masas grandes, los conjuntos enormes de tierra, tienen *más capacidad* para atraer que las masas pequeñas. Fíjate en esto porque es importante: decimos *más capacidad*, pero no *la capacidad*.



Esto nos conduce inmediatamente a otra conclusión: los objetos con masas pequeñas tienen menos capacidad para atraer. Por tanto:

> *Todos los objetos tienen poder de atracción, pero los que tienen masas más grandes poseen más poder y los que tienen masas más pequeñas poseen menos poder.*

En la frase anterior está concentrado el germen de la teoría de la gravitación universal. Así se llama esa fuerza que hace que las cosas caigan: *gravedad*. Y tú mismo, en cuatro pasos, también has podido deducirla. Newton, cuya inteligencia estaba fuera de toda medida, cambió la expresión *unas cosas caen sobre otras* por ésta más científica e infinitamente más real: *todas las cosas se atraen entre sí*. Y, efectivamente, eso es lo que ocurre.



Las flechas imaginarias que simbolizan en el dibujo la atracción apuntan en ambas direcciones. Los dos objetos se atraen mutuamente. Si tú estuvieras solo flotando en el universo y tuvieras a un metro de ti una naranja, la fruta y tú os

atraeríais. Al tener más masa, tú la arrastrarías hacia ti con más fuerza, pero ella, aunque de un modo menor, también tiraría de ti, y al final acabaríais juntos, uno al lado del otro.

Todos los objetos del universo tienden a juntarse en virtud de una misteriosa fuerza llamada gravedad, de la que ni siquiera Newton supo cuál era su origen. La Tierra atrae la Luna, pero la Luna también atrae la Tierra. Las mareas de nuestros océanos no son más que una consecuencia directa de este fenómeno. Nuestro satélite tira del agua hacia arriba.

Newton, como tú, había entendido el movimiento orbital de la Luna en torno a nuestro planeta imaginando una piedra lanzada cada vez más lejos hasta lograr esa curva completa. Y se puso a hacer cálculos, algo de lo que no pueden prescindir los científicos si realmente quieren avanzar en sus hipótesis. Sabiendo el tiempo que tarda la Luna en girar sobre nosotros y conociendo también que a nuestro planeta le lleva un año dar la vuelta al Sol, aplicó las matemáticas para conocer más particularidades de la fuerza de atracción gravitatoria. Y llegó a su segunda conclusión: cuanto más lejos está un objeto de otro, menor es la fuerza con la que tienden a unirse.

Si tú estás en tu casa, la Tierra te atrae con más fuerza que si te encuentras a bordo de un avión, porque en el cielo estás más alejado de la superficie del planeta. La fuerza de atracción disminuye con la distancia. Ésta fue una de las consecuencias que debían ser ciertas para que los planetas giraran del modo exacto en el que lo hacían.

Vamos a unir ambos resultados. El primero nos dice que todos los objetos se atraen en virtud de la cantidad de masa que poseen, y el segundo sostiene que la fuerza de atracción entre ellos disminuye con la distancia. Al fusionarlos, nos queda la preciosa ley de Newton:

> *Todos los cuerpos se atraen con una fuerza directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa*.

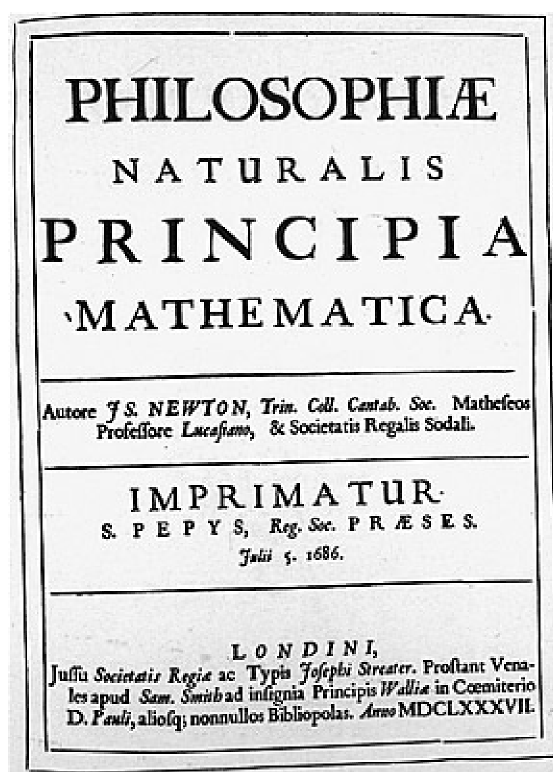
No te preocupes de momento si no entiendes del todo lo que significa eso de «inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias». Confía en mí si te digo que *lo esencial* es que comprendas que cuanta más masa tienen los objetos, con mayor fuerza se quieren juntar, y que al ir aumentando la distancia que los separa, va disminuyendo esa fuerza atractiva. De hecho, podríamos hacer una versión no matemática pero absolutamente correcta de la ley de Newton, que quedaría expresada así:

> *Los objetos se atraen con una fuerza que es mayor cuanta más masa tienen y que disminuye cuanto más lejos están*.

Y ésta es la impresionante contribución de Newton a la gravitación, algo de una importancia fundamental, porque, aplicando su ley, pudo explicar el movimiento de todo el sistema solar y, *generalizando*, el de todo el universo. Una sencilla fórmula

matemática consiguió que entendiéramos algo que había sido un profundo misterio para todos los seres humanos que habían vivido antes que él.

Ahora, cada vez que levantes del suelo una piedra y la dejes caer, piensa que esa fuerza que la conduce hasta el suelo es la misma que mantiene los planetas girando en sus órbitas.



PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore *J S. NEWTON*, *Trin. Coll. Cantab. Soc.* Matheseos Professore *Lucasiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,
Jussu *Societatis Regiæ* ac Typis *Josephi Streater*. Prostant Venales apud *Sam. Smith* ad insignia Principis *Walliæ* in Cœmiterio D. *Pauli*, aliosq; nonnullos Bibliopolas. *Anno* MDCLXXXVII.

La idea de que una misma fuerza puede explicar el funcionamiento de todo el universo es lo que provoca que la ley de Newton tenga el apellido de *universal*. Las leyes de la física que encontramos en nuestro planeta son las mismas que operan en los lugares más remotos del espacio. El cosmos no funciona como nuestra civilización, en la que cada país establece sus propias reglas. Existe por todas partes una homogeneidad, y Newton fue el primero en hacérnoslo saber.

A pesar de este gran logro, como ya te he dicho, nuestro genio no pudo nunca averiguar por qué las masas se atraían entre sí. Argumentó que esa fuerza actuaba de manera inmediata y en el vacío, que algo extraño e incomprensible debía de ocurrir entre los cuerpos para generarles la insólita necesidad de unirse de manera irremediable, pero murió sin hallar la explicación.

No fue fácil encontrarla. Los hombres más inteligentes del mundo se devanaron los sesos pensando cuál podría ser el motivo que causaba que todo lo que levantamos vuelva absurdamente al suelo. Al principio, antes de que llegaran los científicos, las personas aceptaban sin rechistar que las cosas fueran así. Los objetos caen porque pesan, solían decirse llenos de convencimiento, y pasaban de inmediato a ocuparse de otros asuntos. Pero más adelante surgió la pregunta y todo se volvió rematadamente misterioso. Los científicos tienen esa extraña habilidad; todo lo que tocan lo convierten en inquietante. La historia que cuenta el intento por comprender qué es la

gravitación resulta prodigiosa, una de las aventuras más interesantes de nuestra especie, y su protagonista fue Albert Einstein, el mismo que se maravillaba ante el hecho de que podamos llegar a comprender las cosas.

Ulises, intuyo que tienes ganas de que te hable de ello, pero vamos a dejarlo para después. Aún has de aprender muchas cosas que te harán saborear infinitamente mejor la respuesta. Sólo te adelanto que no tiene nada que ver, como sin duda imaginas, con esa explicación aristotélica que afirmaba alegremente que los cuerpos caen al suelo porque ése es su hogar.

Mientras tú estás aquí

Acabas de comprender cómo una sencilla ley obtenida en la Tierra puede ser aplicada a objetos que se encuentran tan lejos que ni siquiera podemos ver. Desde que era pequeño, siempre me ha fascinado el hecho de que en el mundo ocurran cosas que nos resulta imposible observar. Uno está en su casa, o caminando por la calle, mientras ahí fuera, en ese instante exacto, se producen acontecimientos que parecen no afectarnos.

Recuerdo cuando me enteré por primera vez de que existía algo llamado *sistema solar*. Vi algunos gráficos en libros y durante los primeros segundos aquello me pareció abstracto. Era como si no fuera conmigo, como si no representara nada real. Tal vez fue el tipo de dibujo elegido para representar los planetas, o la redacción poco emocionante del texto que lo acompañaba, pero el primer impacto no fue precisamente memorable. Sin embargo, al momento, empecé a pensar que aquellos planetas y lunas tenían un equivalente en el mundo real. Mientras yo estaba sentado en mi pupitre, mirando aquella absurda hoja de papel, a muchos kilómetros de distancia giraban esferas gigantescas. El Sol no era sólo un círculo en un gráfico, sino una enorme masa lejana cuya luz entraba por la ventana calentándome la mano. Era tan real que me cegaba un poco con su reflejo sobre la hoja blanca. Aquello existía, y tenía lugar mientras en mi colegio pasaban otras cosas bastante menos entretenidas.

Es difícil traducir a palabras la sensación de estar conectado con lo que está distante. No es nada místico, Ulises, no vayas a pensar; en realidad se trata de un sentimiento perfectamente humano y natural. La idea de realidad es hermosa, y saber que ocurren acontecimientos asombrosos ahí arriba amplía nuestro mundo. Mi vida ya no era solamente *mi vida*, sino la de los planetas que orbitaban. El universo resultó ser mucho más extenso que el aula en la que día a día dejaba pasar el tiempo mientras me aburría.

Te digo todo esto porque sería estupendo que tú también tuvieras ahora esa sensación. Te he contado por qué gira la Luna y te he hablado de los planetas, y todo eso no son *solamente palabras*. Representan algo que está sucediendo ahora, mientras lees. En línea recta desde tu frente, a ciento cincuenta millones de kilómetros, se encuentra el Sol. Existe al mismo tiempo que tú, lanza llamas inmensas de miles de kilómetros de altura mientras en la calle pasa un camión de la basura.

Dividimos erróneamente la realidad en dos: *nuestro* mundo y *el* mundo. Pero la unión de ambos en uno consigue que tengamos una imagen mucho más precisa del lugar en el que estamos.

Distancias

No hace mucho, dentro de un parking tristísimo, me preguntaste si era posible desplazarse hasta la Luna. Entusiasmado, empecé a contarte la portentosa aventura de la llegada del hombre a nuestro satélite, pero por la expresión de tu cara pude comprender que no era esa la historia que te apetecía escuchar. Lo que tú querías saber era si podíamos ir *en aquel momento*. Al decirte que, lamentablemente, resultaba imposible, señalaste el ascensor que había a tu lado y en seguida adiviné cuál iba a ser tu propuesta.

Dudé sobre si decepcionarte o no, y finalmente consideré más oportuno decantarme por algo intermedio: «Sí, podríamos ir en ascensor hasta la Luna, pero eso nos llevaría mucho tiempo.» No tardaste ni un segundo en preguntarme cuánto.

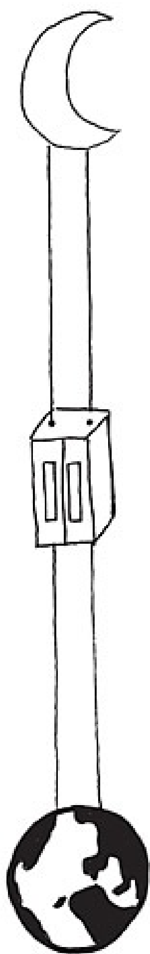
En aquel instante no pude darte una respuesta precisa y sólo te dije que esa tarea nos llevaría varios días. Hoy, sin embargo, voy a calcular para ti el tiempo exacto que tardaríamos en llegar a esa gigantesca bola plateada.

Tú y yo hemos viajado muchas veces en un ascensor. Tal vez no es la experiencia más divertida del mundo, pero todo tiene su interés si se hace con cierto entusiasmo. Creo que la altura más elevada a la que hemos ido juntos es la correspondiente a unos doce pisos, aproximadamente treinta y seis metros. Eso no es mucho, claro está. Es la tremenda desventaja de vivir en un país sin rascacielos.

La Luna se encuentra a 380.000 kilómetros. Se trata de una distancia enorme. Un ascensor recorre doce metros en unos seis segundos. Acabo de calcularlo ahora mismo, subiéndome en el que tengo en casa. Deberías haberme visto, con cara de loco, bajando hasta el vestíbulo y luego cronometrando el tiempo que he tardado en regresar. Este ascensor es de los normales. Creo que no se gastaron ninguna fortuna cuando construyeron el edificio. Algunos son más rápidos y otros desesperadamente más lentos, de manera que podemos hacer una estimación aproximada y decir que los ascensores suben, por término medio, a una velocidad de dos metros por segundo.

Los 380.000 kilómetros que nos separan de la Luna equivalen a 380 millones de metros. Sólo he tenido que multiplicar esa distancia por mil, que, como sabes, son los metros que hay en un kilómetro. Por tanto, si viajáramos en un ascensor como el que todos tenemos en nuestras casas, tardaríamos en llegar a la Luna 190 millones de segundos, aproximadamente seis años.

¿Te imaginas, Ulises? Seis años, con sus días y sus noches, con todos sus lunes y sus miércoles, con seis vacaciones de verano, seis navidades, seis otoños, seis primaveras, seis cumpleaños. Eso es muchísimo. Imagínate todo ese tiempo subiendo



sin parar a la velocidad de un ascensor, siempre hacia arriba, sin poder salir, notando que nos alejamos de casa y viendo cada vez más estrellas brillantes a través de esos dos extraños cristales alargados. Seis años con un vecino sería algo aterrador. Todo ese tiempo sin saber qué decirse, evitando las miradas, tosiendo con timidez o tal vez silbando para fingir cierta absurda normalidad. Un niño que empezara su viaje a los doce años llegaría a la Luna siendo mayor de edad.

¿Verdad que te parece un trayecto espectacular? Ciertamente que lo es, pero se trata de algo insignificante si lo comparamos con la inmensa distancia que nos separa del Sol.

Vamos en ascensor hasta el Sol. Este viaje lo hacemos con la imaginación, lo cual nos libera del peligro de morir abrasados por las llamas gigantes que escupe su superficie. Más adelante te contaré de qué están hechas. Pero no te preocupes, porque saldremos de ésta ilesos. Es la ventaja de los experimentos mentales. Desaparece el peligro y somos libres para ir donde nos dé la gana.

El Sol se encuentra a unos 150 millones de kilómetros de la Tierra. Eso es una barbaridad, te lo aseguro. El tiempo que tendríamos que estar dentro de un ascensor es, exactamente, 2.370 años.

Es una cantidad impresionante. Si alguien hubiera subido en un ascensor hace todos esos años, en el siglo IV antes de Cristo, estaría llegando al Sol ahora mismo.

Curiosamente, alrededor de esa fecha, vivió en la isla de Samos, en Grecia, una persona a la que, sin duda, le habría gustado realizar ese viaje, un hombre que pensó en el Sol y en la Luna, y decidió calcular por primera vez en la historia el tamaño de esos dos misteriosos objetos.

Aristarco de Samos

Aristarco vivía muy feliz en la isla de Samos. Es normal que así fuera. Samos era, y sigue siendo, un lugar extraordinario. El sol da alegría, y allí brilla de una manera magnífica, inundando el paisaje y coloreando las hojas de los árboles con muchísimos tonos de verde. Si uno se encuentra mal en épocas de su vida, basta con imaginarse allí y las cosas, misteriosamente, empiezan a mejorar. Hay sitios que de manera aparentemente inexplicable generan sensaciones positivas. Recuerdo que yo, cuando era pequeño, solía quedarme abstraído en clase mirando una fotografía del Gran Cañón del Colorado que estaba en un libro de texto. Ver aquella imagen me alegraba. Me imaginaba allí, sentado sobre una piedra, recibiendo el sol en la cara, y todas las preocupaciones desaparecían. Nada de lo que podía ver a mi alrededor estaba a la altura de aquella imagen llena de rocas calientes, arbustos delgados y sol. Incluso ahora, muchos años después, el recuerdo de esa fotografía me resulta consolador.


Aristarco de Samos

Es bueno guardar imágenes así, y sería fantástico que tú también las tuvieras. Son como ganchos que impiden que nos caigamos del todo y a los que podemos recurrir fácilmente sólo cerrando los ojos. Aquello no era sólo el Cañón del Colorado, de la misma forma que Samos no solamente es Samos. Los lugares en los que han ocurrido hechos que nos resultan admirables terminan siendo ellos mismos admirables. Y allí ocurrieron muchas cosas. Algún día, tú y yo iremos a Samos.



Isla de Samos en la actualidad.

No se trata de una isla demasiado grande. Digamos que tiene el tamaño perfecto para que uno esté a sus anchas y al mismo tiempo sienta que se encuentra en casa. Todo es cercano y lejano a la vez. Sus dimensiones físicas, muy parecidas a las de la isla de Menorca, quizá favorecieron la reflexión de Aristarco y le ayudaron a realizar sus magníficos descubrimientos. El cielo allí está tremendamente limpio y despejado, y todavía lo estaba más cuando nuestro joven héroe paseaba por las noches despacito, atento a todo, mirando las cosas con unos ojos enormes, reflexionando sobre los misterios que se amontonaban sobre su cabeza a miles de kilómetros de altura.

A Aristarco le gustaban mucho los experimentos mentales, como ese que nosotros hemos hecho en el capítulo anterior. Su mérito respecto a nosotros es que él tenía pocos ejemplos de personas que hubieran hecho antes lo mismo. Eso, sin duda, debió de generarle cierta sensación de soledad. Era consciente de ser uno de los primeros en llevar a cabo algo que él sabía importante. Sin embargo, esa soledad no debió de generarle ninguna tristeza, porque se trataba de un aislamiento magnífico, limpio, oxigenado y perfectamente puro debido a la novedad. En ocasiones somos muy injustos con la soledad. O bien la despreciamos como algo negativo, o nos da por ensalzarla como el único vehículo posible para alcanzar la sabiduría. Nos movemos entre la defensa de la sociabilidad total o la del autismo perfecto, pero existen caminos intermedios, posiciones mezcladas que pueden regalarnos auténticos momentos de alegría. Lo ideal es estar con la gente, dejarse contagiar por su alegría y procurársela también nosotros, pero sin tener miedo a no ser como ellos. Estar con los demás sabiendo retirarse a tiempo.

Imagino a Aristarco y también a la mayoría de los sabios como magníficos seguidores de esta actitud: encantados con la gente sin dejar de ser lo que eran, un modo de estar en el mundo que podríamos llamar *sociabilidad individualista* y que consigue que seamos capaces de atrevernos con todo. El pensamiento científico llevaba poco tiempo instalado en nuestro planeta, y se requería una valentía espectacular para atreverse a confiar en el poder de la razón, la observación y la deducción con el fin de despejar algunos misterios del universo.

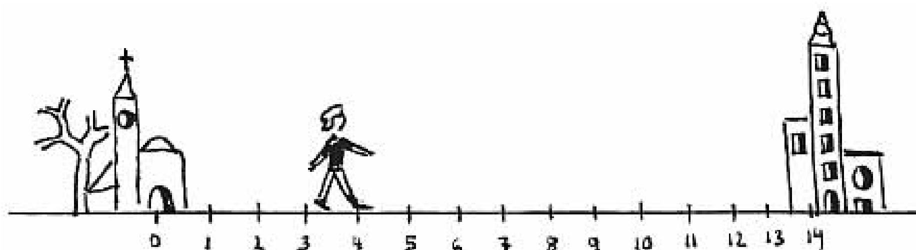
Y Aristarco fue valiente. Mucho más que sus vecinos y amigos. Probablemente todos pensarían que estaba un poco loco, que dedicar varias horas al día a imaginar hechos insólitos no era lo mejor a lo que uno pudiera dedicarse, pero sin duda aquello no debió de importarle demasiado. Con tenacidad, confió en el poder de su estupendo cerebro y desafió a todos imaginando lo que antes a nadie se le había pasado por la cabeza.

Un día, mientras caminaba junto al antepasado de uno de esos estupendos árboles que aparecen en la fotografía de la página anterior, le dio por querer saber qué tamaño tenían realmente la Luna y el Sol. Nunca sabremos qué sintió en el momento de formularse la pregunta, qué tipo de estupor se le vino encima, pero resulta obvio que se trataba de una emoción agradable. Enfrentarse al misterio de las cosas es un placer en sí mismo. Las preguntas dan alegría sin necesidad de ser contestadas, incluso aunque éstas no tengan jamás una respuesta precisa. Pero él sabía que esos tamaños eran algo que podría llegar a averiguarse si uno se esforzaba y enfocaba la cuestión de un modo adecuado. No se trataba de una cuestión metafísica, sino la traslación a las alturas de algo que se hacía habitualmente en la tierra.

Medir

Pero ¿cómo hacer esa medición, por dónde empezar? ¿Qué se te habría ocurrido a ti? Para saber el tamaño exacto de algo, solemos emplear una cinta métrica. Con ella puedes averiguar, por ejemplo, cuántos centímetros tiene una mesa.

Si de lo que se trata es de averiguar la distancia entre dos ciudades, puedes andar durante muchas horas, recorriendo un gran camino para saber cuántos kilómetros las separan. Probablemente no sea la experiencia más entretenida del mundo, pero puedes convertirla en interesante si haces el viaje acompañado de alguien que te caiga bien, o incluso solo, silbando sin pensar en nada, algo que en ocasiones es francamente recomendable.



Caminar era el método de medición que existía en la época de Aristarco. Por tanto, para calcular el tamaño real del Sol y de la Luna, la única posibilidad era agacharse, coger fuerza, dar un brinco enorme, llegar hasta esos dos lejanos astros, recorrer sus superficies paso a paso, anotar el resultado en un pergamino y luego regresar a la Tierra para, lleno de orgullo, contar la hazaña a los demás. Por tanto, si

Aristarco hubiera sido un tipo normal y corriente, habría pensado que jamás llegarían a obtenerse esos datos, a menos, claro está, que uno pudiera ir caminando sobre la superficie del Sol sin abrasarse. En consecuencia, habría considerado más útil dedicar todo su esfuerzo a otros asuntos menos fantasiosos. Pero Aristarco no fue un tipo normal y se dijo a sí mismo que no se moriría sin saber el tamaño de esos astros, y además que lo calcularía sin necesidad de ir hasta allí.

Siendo joven, abandonó la isla de Samos y se marchó al norte de Egipto. Había algo en esa zona del mundo que le llamaba muchísimo la atención, un lugar que probablemente podría ayudarle a obtener, de un modo más directo, la respuesta a su tremendo interrogante. Y aquello que le atraía era nada menos que la biblioteca más grande e importante de su época.

Hoy tenemos Internet y resulta fácil encontrar cualquier dato que necesitemos. Basta con poner en Google el término que buscamos y al instante obtenemos cientos de enlaces dispuestos a echarnos una mano. No todas las informaciones que aparecen allí son fiables, por supuesto. Es bueno estar atento y saber distinguir lo riguroso de las tonterías, pero es innegable que se trata de una herramienta fabulosa para hallar información. Sin embargo, antes las cosas no eran tan sencillas. El saber ocupaba un lugar, y éste no era precisamente pequeño. Esa enorme biblioteca situada en el norte de Egipto no era otra que la famosísima Biblioteca de Alejandría, uno de los espacios físicos más relevantes de la historia de la humanidad. Metafóricamente, se trataba también de una isla. Miles de rollos de pergamino estaban ordenados y catalogados en magníficas estanterías. Allí podía encontrarse escrito todo lo que otros habían reflexionado sobre los misterios del universo. No es extraño que aquel jovencito inteligente y curioso, criado en una isla, quisiera ir allí y leerlo todo.

De la estancia de Aristarco en Alejandría sabemos muy poco. En general desconocemos casi todo lo que tiene que ver con su vida, pero no es difícil imaginar cuál fue su reacción al entrar en esa biblioteca por primera vez. Con toda seguridad, acudió a toda prisa a la primera estantería que vio y empezó a buscar algo relacionado con el Sol y la Luna, sus dos amadas obsesiones. Tal vez allí podría toparse con datos que le ayudaran a obtener la respuesta que él tanto anhelaba.

Pensarás que Aristarco tuvo mucha suerte al haber visitado, siendo tan joven, ese magnífico lugar en el que pudo extraer información de primera mano sobre lo que otros habían escrito. Y es cierto; su suerte fue gigantesca, pero no olvides nunca que ese privilegio es algo que todos tenemos a nuestro alcance. Estudiar consiste exactamente en eso.



En este precioso lugar se encontraba la asombrosa Biblioteca de Alejandría.

Ignoramos también lo que Aristarco leyó allí y por desgracia nunca lo sabremos. Esa biblioteca ya no existe. Fue quemada por unos tipos estúpidos bastantes años después. El único consuelo que nos queda es el de saber que alguien inteligente pudo leer por nosotros muchos de aquellos libros. Quizá no sea el mejor consuelo del mundo, pero a mí, de algún modo, me sirve. Durante un tiempo, aquella excelente acumulación de textos existió y resultó útil. Alguien disfrutó de aquello, un ser humano que lo merecía. Eso me basta.

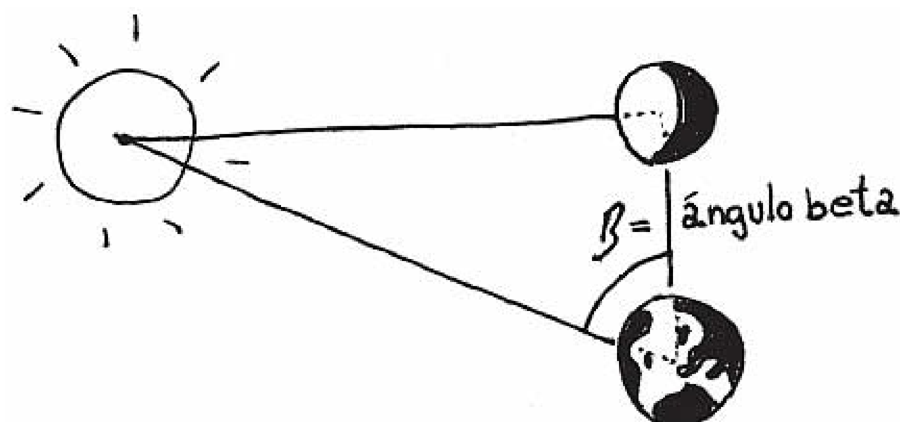
Aristarco estaba empeñado en cumplir su sueño. Hizo todo lo posible por calcular la distancia al Sol y a la Luna. ¿Y sabes, Ulises, qué idea se le ocurrió? Para responder a esta pregunta, hemos de pensar en algo que tú conoces muy bien.

Todo lo que vemos a nuestro alrededor está cambiando sin cesar. Eso es una suerte, porque si las cosas permanecieran siempre igual todo sería espantosamente aburrido. El universo nos ofrece el magnífico espectáculo del cambio. Esta última frase es algo pedante, creo que te escucho decir, y tienes razón, pero aun así no he podido evitar escribirla, porque realmente pienso que el movimiento es un espectáculo de primer orden. La Luna varía su forma. Durante un tiempo su aspecto se parece a la letra *D*, luego se redondea completamente y después, noche a noche, va adquiriendo la forma de la letra *C* hasta desaparecer del todo. Tras finalizar este ciclo, empieza de nuevo. Se trata, claro está, de las fases de la Luna: creciente, llena, menguante y nueva.



Hace miles de años, esto debió de provocar en los primeros observadores humanos cierta idea de tranquilidad. Las cosas pueden torcerse, pero, si se espera el tiempo necesario, todo vuelve a ser como antes. La idea de que en el universo hay un orden, un esquema, resulta de algún modo esperanzadora. Lo que más miedo da es, sin duda, el caos, lo arbitrario, el azar enloquecido. Y más terror produce todavía imaginar que lo que ocurre en el mundo es el resultado de decisiones caprichosas, pero, gracias a la observación de estas regularidades, aquellos tipos debieron de pensar que, en caso de existir un Superjefe cósmico, éste debía de tener un temperamento más o menos metódico. Pero aún hay algo mejor. La simple visión de los fenómenos cíclicos en el cielo dio pie al nacimiento de la noción de ley natural. Me imagino a nuestros antepasados divididos en dos bandos: los que consideraban que unos dioses armoniosos controlaban el universo con sus decisiones regulares y aquellos que, gracias a esas mismas observaciones, llegaron a la conclusión de que esos dioses no eran en absoluto necesarios. La ley de los dioses en contraposición con las leyes naturales. En cualquier caso, existía una obediencia. La Luna no hacía lo que se le antojaba. Se trataba de averiguar si seguía las órdenes de voluntades superiores o las de unas ciegas e invisibles leyes que operaban en algún lugar escondido de la naturaleza. Las dos conclusiones eran igualmente misteriosas, y con el paso del tiempo llegaron incluso a mezclarse.

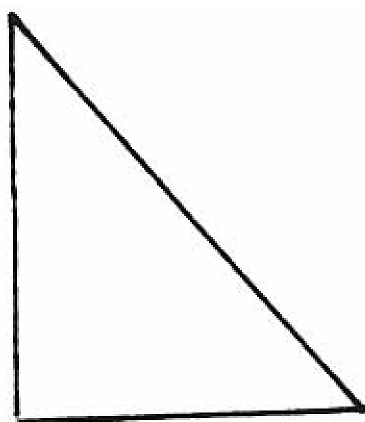
Aristarco intentó explicar el aparente cambio de forma en la Luna imaginando que, en el momento en que ésta tiene forma de cruasán, ella, el Sol y la Tierra forman un triángulo. No te alteres. Sé que la geometría parece algo terriblemente complicado, pero lo que quiero explicarte es muy sencillo. Creo que con este dibujo te quedará más o menos claro.



En este dibujo (el mismo que utilizó Aristarco), la Luna está iluminada sólo en un lado. Resulta fácil entenderlo: el Sol ilumina exclusivamente la parte de la izquierda, mientras que la derecha queda a oscuras por completo. Por eso, desde la Tierra nos parece que la Luna es sólo *media* Luna.

Visto así, en este sencillísimo gráfico, todo resulta espectacularmente claro. Tanto que nos cuesta imaginar cómo alguien no había caído antes en la cuenta. Sin embargo, lo que ahora nos parece obvio no lo era en absoluto cuando aún teníamos todo por hacer. Las personas deberíamos tener siempre presente una especie de mandamiento de humildad que podría traducirse así: «No infravaloréis los logros antiguos, por muy sencillos que a vosotros os parezcan.» No sólo hay que ponerse *en el lugar del otro*, como tantas veces nos han repetido con acierto, sino también *en la época del otro*. Porque *uno es lo que es*, por supuesto, pero también *uno es cuando es*. Y cuando Aristarco vivía y caminaba y se fijaba en las piernas de las hermosísimas griegas y en los brazos de los guapísimos griegos (tenían aquellos muchachos, al parecer, cierta tendencia a picar de aquí y de allá), dibujar el gráfico anterior era, directamente, una portentosa genialidad, un logro indiscutible de la inteligencia. Se le ocurrió a él, y no a otro, y eso es algo por lo que tenemos que estarle siempre agradecido.

Probablemente estarás preguntándote qué tiene todo esto que ver con el cálculo de distancias. Pensarás que las fases de la Luna son cosas que afectan sólo a la Luna, pero en realidad todo está fabulosamente conectado. Existe una herramienta matemática llamada *trigonometría* que nos permite realizar cálculos en triángulos.

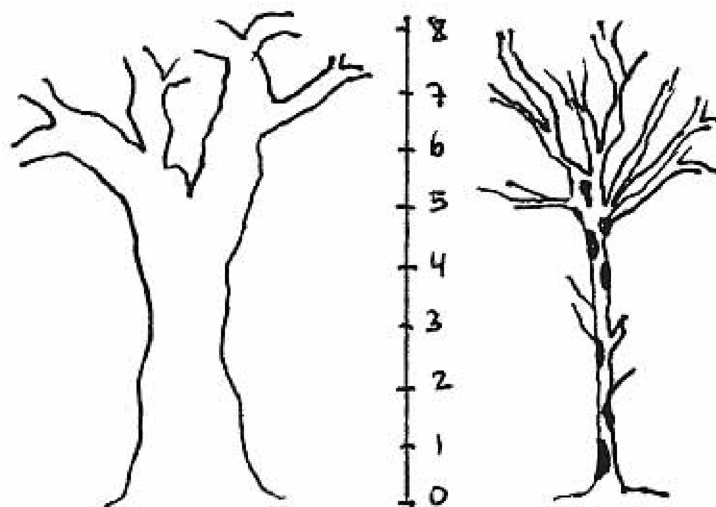


Éste es un triángulo rectángulo, uno de los más sencillos del mundo. Se apellida *rectángulo* porque uno de sus ángulos es recto. Un ángulo recto tiene 90 grados. Cuatro veces 90 son 360, los grados de un círculo completo. La letra L también forma un ángulo recto. Una persona puesta en pie forma un ángulo recto con el suelo.

Pues bien, en un triángulo rectángulo, si se sabe cuál es el valor de uno de los otros dos ángulos y lo que mide un lado, podemos medirlo todo. Y esta sencilla ley matemática, comprensible de forma intuitiva, ayudó a Aristarco a cambiar el mundo.

¿Cómo es eso posible? ¿De qué modo un triangulito puede provocar que un señor antiguo altere la concepción que el ser humano tiene de todas las cosas? Fíjate bien en el dibujo, en el ángulo beta. Aristarco calculó que debía de medir unos 87 grados. Aplicando una sencillísima fórmula, eso le indicaba que el Sol debía de estar unas veinte veces más lejos de la Tierra que la Luna.

Luego cerró los ojos y pensó: «Si el Sol está veinte veces más lejos que la Luna y su tamaño es más o menos igual que el de ésta, eso significa que...» Vamos a parar aquí la frase. Un momento de emoción nunca está de más.



Imagina que te digo que el árbol dibujado a la derecha está veinte veces más lejos que el árbol de la izquierda. De inmediato pensarás, con toda lógica, que, si los vemos igual, es porque el árbol de la derecha es veinte veces más grande. Es la única explicación para que, pese a hallarse a mayor distancia, los veamos igual a simple vista.

Parece una reflexión sencilla, casi infantil, pero es un razonamiento genial, un logro intelectual fuera de toda discusión, sobre todo si se realiza hace más de dos mil trescientos años y no la aplicamos a árboles sino a cuerpos celestes. Es hora, por tanto, de terminar la frase anterior, porque habíamos dejado a Aristarco con la palabra en la boca: «Si el Sol está veinte veces más lejos que la Luna, y ambos cuerpos, a simple vista, parecen iguales, ¡eso significa que el Sol es veinte veces mayor!»

Por primera vez en la historia alguien había demostrado que el Sol es una bola de fuego gigantesca, confirmando que la realidad es abrumadoramente más grande de lo que parecen indicar nuestros sentidos.

Aristarco no fue del todo preciso en sus observaciones, algo perfectamente comprensible si tenemos en cuenta que el hombre vivió en la edad de hierro. La respuesta correcta es que el Sol es cuatrocientas veces más grande que la Luna. Esa diferencia tan enorme se debe, en realidad, a un fallo diminuto en el cálculo del ángulo beta. Pero el error te debe importar muy poco, porque es el método que utilizó Aristarco lo que convierte su legado en algo tan valioso. Las mediciones fueron erróneas, pero su método era el correcto. En la ciencia lo importante es el método. Nuestro griego tuvo el talento de saber que las matemáticas, combinadas con la observación, pueden ayudar a calcular el tamaño del universo.

La ciencia estaba empezando a gatear, si me permites la metáfora probablemente ingenua. Los pocos que se dedicaban a ella iban de aquí para allá, tropezando con todo, dando tumbos, haciendo lo que buenamente podían. ¿Qué más da un error numérico cuando estaba ayudando a crear la herramienta con la que siglos después pudimos llegar hasta la Luna?

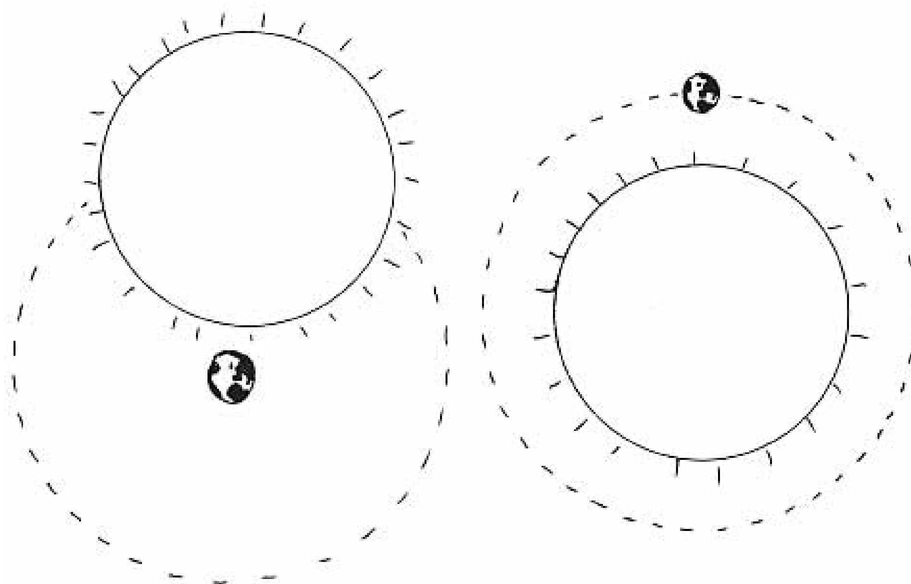
Pero hay algo más. Aristarco no sólo ha pasado a la historia por demostrarnos que unos triángulos imaginarios nos ayudan a calcular tamaños sin necesidad de desplazarnos. Su principal aportación a la humanidad fue la de hacernos entender que nuestro ombligo no es el centro del mundo.

Ahora te lo cuento.

Fuera del centro

La conclusión de Aristarco de que el Sol era realmente grande lo sumió en una profunda reflexión. Tal vez, en una noche estrellada de aquella perdida Alejandría, al salir de la biblioteca, empezó a mirar al cielo y reflexionó del siguiente modo:

> Mañana veré el Sol nuevamente. Ya no será el mismo para mí. Ahora sé que es enorme. La Luna es insignificante a su lado, y nosotros también. Los hombres tienen más fuerza que los niños. El poder, de alguna manera, tiene que ver con el tamaño. Y los poderosos mandan. Por tanto, el Sol, tan gigantesco, también debe ejercer cierto poder sobre nosotros. Es como si fuéramos sus súbditos. ¿Y no es raro que un súbdito esté quieto mientras el poderoso gira a su alrededor? ¿No es acaso más lógico que ocurra lo contrario?



La imagen de la derecha le debió de parecer más natural a Aristarco.

Quién sabe si fue éste su proceso mental. Algo me dice que tuvo que ser más o menos así. En cualquier caso, lo cierto es que fue el primer ser humano sobre la Tierra que pensó que nuestro planeta no está en el centro del universo.

En la Biblioteca de Alejandría se guardó durante mucho tiempo un precioso libro escrito por Aristarco. En él explicaba, en primera persona, su teoría heliocéntrica. *Helio*, de Sol, y *céntrica*, de centro. Podemos soñar con su contenido, con el modo en que podría estar redactado, pero nada más. Por desgracia desapareció para siempre. Los hombres estúpidos que te comenté antes lo quemaron junto con otros miles de ejemplares. Algún día te explicaré quiénes y por qué lo hicieron. La historia es impresionante, aunque al conocerla uno tiene la horrible sensación de que los seres humanos no tenemos remedio.

Tuvieron que pasar dos mil años antes de que otro hombre tremendamente listo, Nicolás Copérnico, demostrara lo que aquel joven que paseaba ensimismado por la soleada isla griega de Samos había deducido él solito, mirando la Luna y dibujando un triángulo.

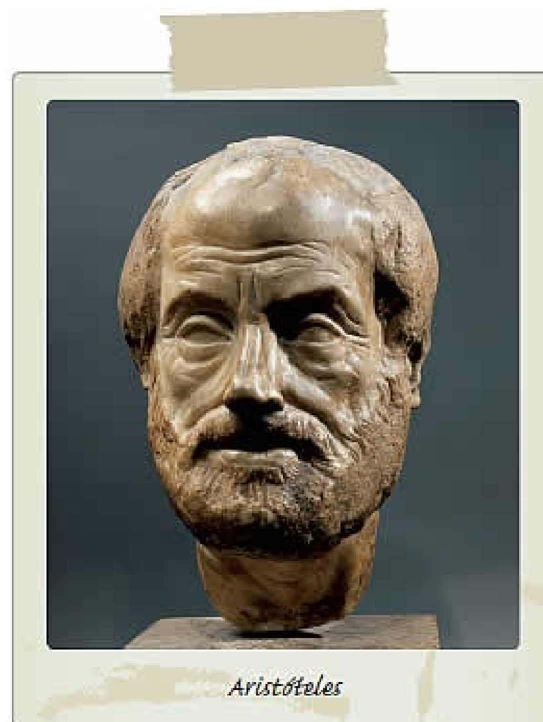
¿Por qué se tardó tanto en recuperar esa excelente idea? La reticencia a aceptar el movimiento terrestre alrededor del Sol, en contra de algunos tópicos, no se debió jamás a un asunto que tuviera que ver con nuestro orgulloso deseo de permanecer en el centro, sino con el sentido común y con la extrañeza. No fuimos jamás geocéntricos por chulería, sino porque se nos hacía imposible imaginar que bajo nuestros pies, este suelo que parece tan firme, estuviera en realidad dando vueltas alrededor de una gigantesca hoguera. Y, tal como antes te decía, no debemos reírnos de los que tuvieron esa resistencia a aceptar los hechos. Siempre que, por debilidad, me da por sentirme superior al ignorante hombre del pasado, me planteo qué habría pensado yo de haber estado en su lugar. Y deduzco que, sin duda, habría sido un obtuso geocéntrico. Resulta muy fácil viajar con la imaginación al pasado y ponerse en la piel de Aristarco, como si todos pudiéramos tener su intuición y su genio, despreciando el

hecho de que, con toda seguridad, nos habría tocado ser uno del montón de los equivocados. Y es esa falta de visión, y no la creencia en el geocentrismo, la que a mí me parece tremendamente vanidosa.

Entonces, ¿cuáles fueron las causas del retraso? Muchísimas, pero para simplificarlas podemos decir que uno de los primeros causantes fue un tipo del que ya te he hablado, un genio sin discusión que tenía un grave defecto desde el punto de vista científico: nunca quiso ver una parábola. Se trata, ya lo habrás adivinado, del monumental y gigantesco Aristóteles, un hombre que siempre me he imaginado hecho de mármol.

Aristóteles

Ahora sí vamos a hablar de él. Este filósofo griego es uno de los hombres más influyentes de la historia del pensamiento. Nació hace aproximadamente veinticuatro siglos y, en contra de lo que pudiera parecer observando este busto, su barba, sus ojos y su cara eran de tres colores distintos.


Aristóteles

Ya te he comentado antes que Aristóteles no era precisamente un apasionado de la experimentación. Lo más parecido que hizo a experimentar fue elaborar aburridos catálogos con extraños nombres de plantas que le iban enviando desde distintas partes del mundo. Consideraba que utilizando la inteligencia podríamos formarnos una magnífica idea de cómo funciona el universo. Comprobar las teorías que se le iban ocurriendo no era algo que se le pasara habitualmente por la cabeza. El uso de una

lógica que él mismo creó era la principal herramienta para desentrañar los misterios del mundo. Al margen de estas consideraciones del todo erróneas, hay que decir que el tipo era profundamente inteligente. De Platón heredó la insólita certeza de que todo lo que está a nuestro alcance, aquí en la Tierra, ha de ser necesariamente espantoso. Aunque, al menos, Aristóteles afirmaba que el mundo que vemos es real, generosa consideración que no tuvo nunca su maestro. Pero, aun así, acabó dividiendo lo existente en dos partes radicalmente distintas, sin posibilidad alguna de conexión: el mundo sublunar (de la Luna para abajo) y el mundo supralunar (de la Luna para arriba).

El mundo sublunar (nuestro planeta, vamos) era para él lo peor de lo peor. Aquí todo era un despropósito: corrupción, muerte, vicio, cambio y fealdad. Sin embargo, el mundo supralunar era delicioso hasta decir basta. El orden cósmico tenía algo emocionante: una perfección maravillosa, una armonía que, si la pudiéramos ver, nos pondría a todos la piel de gallina y empezaríamos a llorar extasiados, deseando abrazar de inmediato a quien tuviéramos al lado. El material del que estaba formado todo lo situado más allá de la Luna era, para él, el éter, conocido también como *el quinto elemento*, algo dotado de unas cualidades misteriosas que lo hacían incorruptible, mientras que todo lo situado aquí abajo era una ingeniosa mezcla de aire, agua, tierra y fuego, los cuatro elementos inferiores.



El éter, además, daba respuesta a otro interrogante. ¿Por qué en el cielo los cuerpos se mueven siguiendo un círculo (la Luna giraba, el Sol también), mientras que aquí, en la Tierra, parecen ir en línea recta? El éter también era la solución. Esa sustancia llena de cualidades extraordinarias, además de incorruptible, empujaba a los cuerpos celestes provocándoles el perfecto movimiento circular.

Desgraciadamente, nadie le preguntó cómo diablos podía saber él todo eso.

Aristóteles tuvo suerte en la vida, y la siguió teniendo en su tumba, prolongándose hasta el día de hoy. Tanto antes como ahora, su nombre es garantía de profundidad. El consenso sobre sus capacidades era y es absoluto. En muchísimas ocasiones, de un modo perfectamente justificado, claro está, pero también es bueno señalar que muchas veces ese respeto ha tenido algo de reverencial, y por tanto de irracional y exagerado, provocando que le otorguemos medallas más allá de sus méritos. Por ejemplo, Ulises, hay quien considera que los éxitos del conquistador Alejandro Magno, el hijo de Filipo de Macedonia, quien se apoderó de medio mundo, se debieron en parte al talento del filósofo. El hecho de que Aristóteles fuera su maestro ha disparado una serie de leyendas acerca de la influencia que tuvo en su discípulo. Lo cierto es que, con mucha probabilidad, a Alejandro le entraba por un oído y le salía por otro todo lo que el eminente profesor le iba enseñando durante sus largos paseos.

Sin embargo, los lectores de Aristóteles le prestaron muchísima más atención que el sanguinario conquistador, y solían creer a pies juntillas todo lo que él había escrito, sin pararse tres insignificantes minutos a pensar por ellos mismos. La autoridad del gran filósofo era tan inmensa, estaba tan instalada, había tanto consenso en que era el mejor y el más grande, que ponerlo en cuestión era prácticamente una herejía.



Aquí estuvo hace dos milenios y medio el Liceo, donde Aristóteles reflexionaba.

Esa actitud de idolatría intelectual es, en sí misma, bastante negativa, pero podríamos ser bondadosos y considerarla simplemente una característica humana, algo comprensible teniendo en cuenta lo mucho que nos gusta dejarnos impresionar por aquellos que poseen cierta autoridad. Pero las cosas no son tan sencillas. En realidad, la obediencia ciega a los escritos aristotélicos resultó ser algo imperdonable, y no por culpa del filósofo, sino de los que llegaron a alzarlo hasta la altura del dios indiscutible del pensamiento occidental.

Una de las afirmaciones de Aristóteles afecta profundamente al pensamiento de Aristarco, porque para el discípulo de Platón la Tierra está en el mismísimo centro del universo, sin discusión posible.

Entonces, ¿a quién hacer caso, a Aristarco o a Aristóteles? La cosa estaba clara. El prestigio lo tenía Aristóteles. Él era el talismán de la inteligencia, mientras que Aristarco era sólo un viejo griego casi olvidado. Los seres humanos, en ocasiones, somos tan profundamente injustos que podemos desatender un trabajo genial sólo porque su creador no goza de la suficiente reputación académica.

Además, durante muchísimo tiempo, Aristóteles fue un filósofo muy querido por el cristianismo. Su visión geocéntrica encajaba a la perfección con ciertas ideas bíblicas y, como sabes, a la Iglesia nunca le importó demasiado ir señalando el camino por el que debía deambular el pensamiento.

En Badajoz hay un monasterio del siglo XIII que puede ayudarnos a entender la defensa cristiana del aristotelismo. Se trata del monasterio de Nuestra Señora de Tentudía, una auténtica maravilla a la que a uno no le importaría marcharse de vez en cuando. A su alrededor, unos simples arbustos que parecen antiquísimos dan al lugar una sensación de rotunda humildad. El nombre *Tentudía* surge de una frase radicalmente geocéntrica.

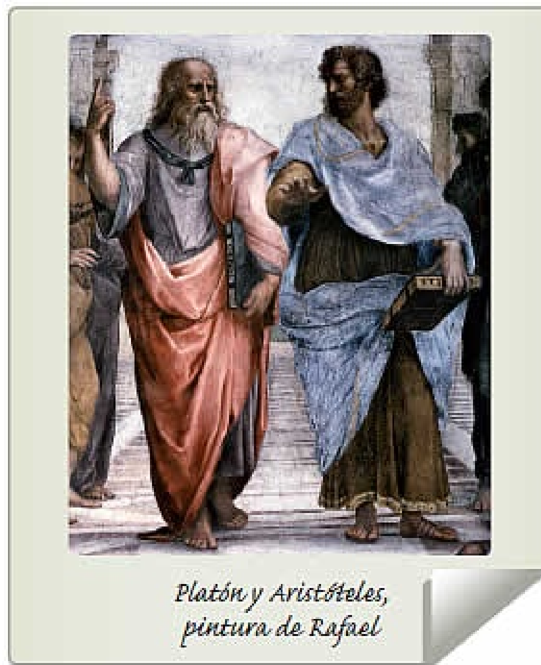
Hace ochocientos años, un maestre de la Orden de Santiago, durante una batalla contra los árabes, quiso que no llegara la noche por cuestiones de estrategia. Con una fe fuera de toda discusión, le pidió a la Virgen: «Santa María, detén tu día», lo que, según la leyenda, provocó que el Sol se parara. De «detén tu día» surgió el nombre del monasterio de Nuestra Señora de Tentudía.

A la Virgen no le hubiera costado nada detener el día parando la Tierra, lo cual habría sido perfectamente heliocéntrico, pero lo que hizo fue parar el Sol, lo que sin duda habría llenado de satisfacción a Aristóteles. En otra obra anterior, *El cantar de Roldán*, se describe en un francés antiguo cómo el rey Carlos, antes de convertirse en el gran Carlomagno, le pide a Dios que detenga el Sol para así poder terminar aquel día su lucha contra los infieles. Ni que decir tiene que Dios vuelve a darle la razón al discípulo de Platón y detiene inmediatamente el Sol.



El claustro del Monasterio de Tentudía.

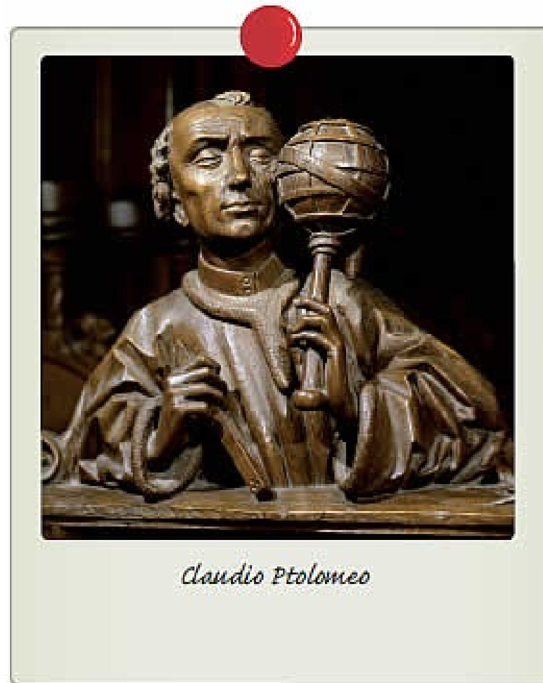
Esta preferencia cristiana por el geocentrismo tuvo sus efectos. Poner en cuestión a Aristóteles estaba muy mal visto, y su influjo a lo largo del pensamiento occidental tuvo consecuencias negativas; pero no te formes una idea equivocada de este buen hombre. Otro de los errores, esta vez situado en el bando contrario, ha sido el de cogerle una manía tremenda. No caigas tú en eso. Fue un pensador original y brillante, un tipo con una potencia intelectual fuera de toda discusión, un maestro y un genio, pero hemos de saber situarnos y comprender que nadie tiene la razón absoluta, que ningún pensador, por magnífico y brillante que sea, puede dar en el clavo en todo lo que afirma. El problema, en resumidas cuentas, no fue Aristóteles, sino el aristotelismo, que se prolongó durante demasiados siglos. No fue él, sino su prestigio, algo que explica en parte por qué tuvieron que pasar casi dos mil años antes de que la teoría heliocéntrica pudiera ser propuesta otra vez, volviendo a prestar atención a las estupendas tesis de Aristarco de Samos. Pero ésa no es toda la explicación. El ser humano puede ser ligeramente tonto, pero en ningún modo es tonto del todo. Tuvo que haber otras poderosas razones. Y ciertamente existieron. Una de ellas se llamaba Claudio Ptolomeo, un hombre que nos demuestra que es perfectamente compatible ser un genio de arriba abajo y estar equivocado por completo.



Platón y Aristóteles, pintura de Rafael

Claudio Ptolomeo

Este señor nació hace unos dos mil años y vivió casi toda su vida en Egipto. Se pasaba gran parte de su tiempo en la Biblioteca de Alejandría, reflexionando acerca de cuál podría ser la forma exacta del universo. Esa actividad le provocaba un placer inmenso. Nada le gustaba más. No se conformaba con especular acerca de las cosas pequeñas, sino que quería tener encerrada en su cabeza la explicación total del mundo. Puede parecerte una ambición loca y exagerada, pero te aseguro que resulta bastante habitual en la mayoría de los tipos que nos han ayudado a comprender qué significa todo este embrollo.

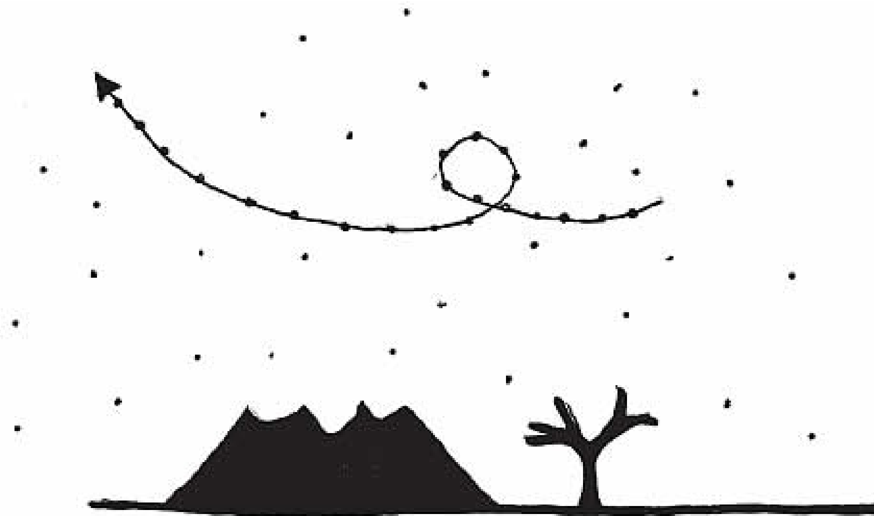

Claudio Ptolomeo

Ptolomeo era distinto a Aristóteles en muchos aspectos. A él sí que le gustaba experimentar. Era un científico en toda regla. Observaba el modo en el que los planetas y las estrellas se mueven en el cielo, y eso tenía mucho mérito en una época en la que todavía no se había inventado el telescopio. Había que tener una vista excelente y una paciencia fuera de lo común para seguir, noche tras noche, el cambio de posición de una pequeña lucecita colgada en el firmamento.

Pero no sólo tenía paciencia y buena vista. Estos dos requisitos los poseían miles de hombres y mujeres en su época. También era necesario tener cierta fe en el funcionamiento de la realidad, una especie de sentimiento que provoca que veamos el mundo de un modo amable y misterioso a la vez, cercano y lejano al mismo tiempo, un universo amigo pero también un universo al que respetar. Sólo queremos comprender lo que, de algún modo, amamos y respetamos a partes iguales, y Claudio Ptolomeo amaba con un respeto profundo el mundo y tenía también una fe inmensa en él. Esta fe no tiene nada que ver con la tendencia a creer a ciegas en lo que una autoridad nos haya podido decir, sino precisamente todo lo contrario. *Fe en el mundo* puede traducirse como *convencimiento de que existen leyes en la naturaleza*, en todo aquello que podemos descubrir sencillamente observando. No es una fe gratuita, sino ganada a pulso. Cada observación, cada experimentación, garantiza la siguiente y la convierte en más fiable.

Ptolomeo se pasaba horas mirando los planetas y le maravillaba que hubiera en el firmamento dos tipos distintos de luces. Unas, aunque se movieran en el cielo, mantenían su distancia relativa, y otras se movían con respecto al fondo. Aparentemente, tenían el mismo tamaño, pero era obvio que algo en ellas debía de ser distinto.

En cierta ocasión, observó algo curioso cuando miraba estas luces móviles. Se comportaban de un modo extraño. Su movimiento era en apariencia azaroso y caótico. A veces iban y otras venían. Se movían en el cielo en una dirección y luego retrocedían para después avanzar nuevamente.

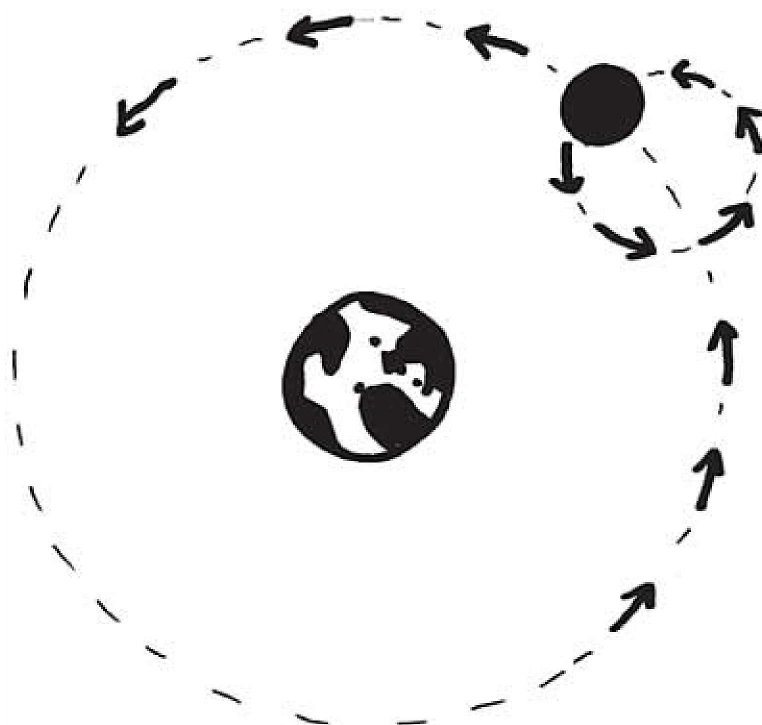


Este movimiento insólito parecía no estar en absoluto calculado y chocaba con la meticulosidad que mostraba el resto del firmamento. Se trataba, como has podido adivinar, de los planetas. En griego *planeta* significa «errante», y lo cierto es que es una excelente palabra para describir su comportamiento aparente. Era como si, de alguna manera, tuvieran vida propia y estuvieran dotados de un tipo misterioso de voluntad. No resulta extraño que muchos de esos astros estuvieran entonces teñidos con las características de los dioses. Si dejabas volar la imaginación, parecía como si deambularan por el firmamento, recorriendo senderos que iban decidiendo al caminar.

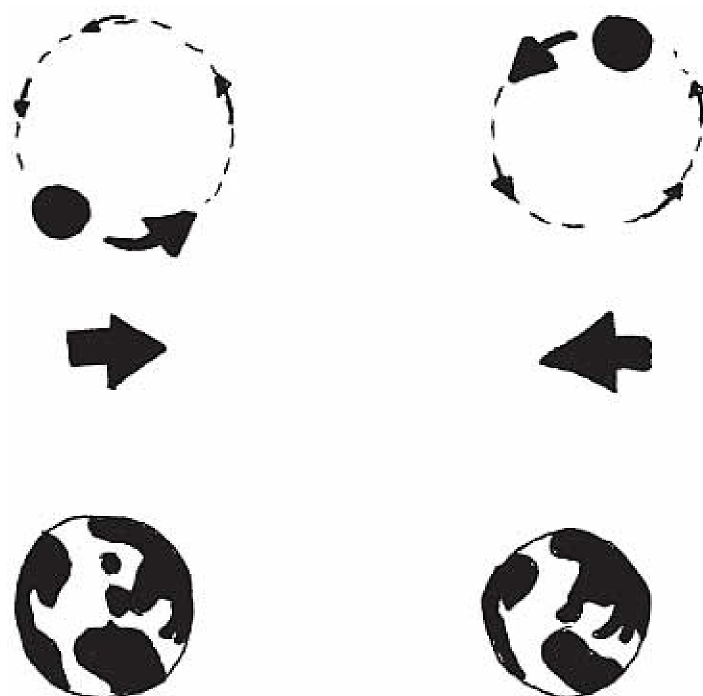
Ptolomeo continuó con la idea de Aristóteles de una Tierra situada en el centro del universo, con todos los planetas y estrellas girando a su alrededor, sin tener para nada en cuenta las geniales intuiciones de Aristarco. Sin embargo, la observación del comportamiento extraño de los planetas dificultaba bastante todo el asunto. Resultaba claro que éstos no podían girar sin más alrededor de nosotros porque, si lo hicieran, lo lógico sería que orbitaran describiendo círculos perfectos y no esa especie de deambular caprichoso e insólito que podía detectarse a simple vista.

Pero nuestro hombre seguía empeñado en la posición central de nuestro planeta y esa observación no iba a echar a perder una teoría tan perfectamente basada en el sentido común. Era tan inteligente como terco. Así que cerró los ojos y pensó cómo podía explicarse el rarísimo movimiento de los planetas en el supuesto de que éstos giraran a nuestro alrededor. Y tuvo una idea genial. Errónea, pero genial.

Repentinamente ilusionado, dibujó algo similar a lo siguiente:



La Tierra está en el centro. En torno a ella gira un planeta en órbita circular. Pero, a su vez, el planeta gira en una especie de microórbita alrededor de un centro que se va desplazando en el viaje planetario.



Dependiendo de su posición en la microórbita, el planeta parece ir adelante o atrás.

Si tú estás en la Tierra mirando el planeta, verás que en ocasiones éste va hacia delante y, en otras, hacia atrás.

Esto explicaría el movimiento errante de los planetas sin necesidad de modificar la teoría de la Tierra en el centro del universo. Suele dudarse de si fue realmente Ptolomeo quien tuvo la idea de los círculos dentro de círculos (llamados técnicamente *epiciclos*), o si tal vez fue el astrónomo y geómetra Apolonio de Perga, pero lo que resulta innegable es que Claudio Ptolomeo fue quien los utilizó de un modo sofisticado y brillante, convirtiendo la teoría en un sistema cerrado y creando la primera visión científica del sistema solar.

Este modelo astronómico de Ptolomeo tenía una característica curiosa. Los planetas no flotaban, sino que estaban de alguna manera enganchados a unas invisibles esferas gigantes, cuyo movimiento provocaba, a su vez, el de los planetas.

Hoy día sabemos que estas esferas no existen, pero en aquel momento resultaron de una utilidad asombrosa. A Ptolomeo y a sus contemporáneos les resultaba imposible que algo pudiera estar flotando en el espacio vacío. Es normal que fuera así. No sabían lo que tú ahora conoces gracias al experimento mental que hiciste con la piedra lanzada a lo largo de la superficie de nuestro planeta. Por tanto, para entender la aparente suspensión, idearon esas esferas invisibles, colosales sujetadoras de mundos, que podemos imaginarnos como hechas de cristal. Ellas aguantaban de algún modo a los cuerpos en el espacio, logrando explicar la inquietante ingravidez.



Sistema de Ptolomeo.

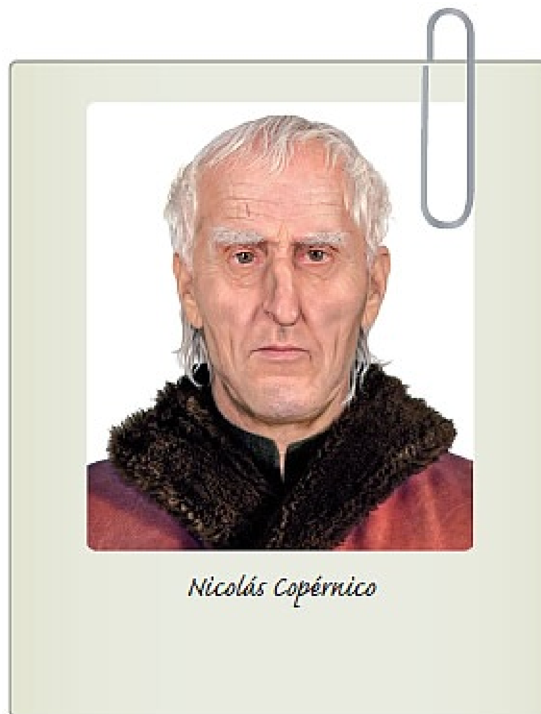
Hace un momento te he dicho que Ptolomeo era un científico, a pesar de que sabemos que estaba del todo equivocado. Incluso te he dicho que las ideas de Ptolomeo eran geniales. ¿Cómo es posible que algo falso sea al mismo tiempo una genialidad científica? La respuesta es muy sencilla: debemos distinguir las hipótesis de los hechos. Una hipótesis puede ser falsa, pero honesta. Ptolomeo fue honesto al introducir los epiciclos, porque realmente, de ser ciertos, explicarían todos los movimientos del cielo detectados hasta entonces. Aristóteles, por su parte, no lo fue tanto al hablar de mundo sublunar y mundo supralunar, porque esas ideas eran el resultado de especulaciones sacadas de la manga, creadas sin que existiera una clara necesidad de hacerlo.

El sistema geocéntrico de Ptolomeo es el que continuó vigente, con la inestimable ayuda del prestigio aristotélico, hasta la llegada de Nicolás Copérnico, en pleno Renacimiento, creando la imagen moderna del sistema solar y homenajeando silenciosamente (demasiado silenciosamente, según algunos) a nuestro querido Aristarco de Samos.

Es momento, por tanto, de hablarte de Copérnico.

El canónigo Nicolás

Desde la muerte de Aristarco hasta el nacimiento de Copérnico pasaron muchas cosas sobre la Tierra. Casi dos milenios dan para mucho. Se construyeron catedrales, hubo absurdas guerras, historias de amor sublimes y ridículas, se escribieron libros estupendos (otros no tanto), se besaron en la boca cientos de miles de hombres y mujeres, hubo asesinatos, plagas de enfermedades, invasiones, movimientos artísticos, negocios, traiciones, palizas, llovió y tronó en infinidad de ocasiones sobre los campos y los poblados de este planeta, se acariciaron y maltrataron animales, nacieron árboles que terminaron muriendo, millones de pájaros trinaron, hubo suicidios, aplausos, canciones, malentendidos, gritos, terremotos, nacimiento y muerte de millones de tulipanes, hormigueros barridos por el viento, personas ahogadas en el mar, carcajadas, susurros, olor de pies, frío, nieve, calor agobiante, dolores de muelas, tristezas totales, alegrías infinitas, amor de madres y padres, desprecio, ventosidades, guiños de ojos y, en general, todas esas cosas que suelen pasar en el mundo sin que podamos hacer nada por evitarlo.



Y un día nace Copérnico. Es este hombre feote que ves aquí, el ser humano que fijó en la mentalidad moderna la idea de que la Tierra gira alrededor del Sol. Te sorprenderá que dispongamos de una imagen tan actual de un tipo nacido en el siglo XV. Si te fijas bien, parece una fotografía. El misterio desaparece si te cuento que se trata de la reconstrucción informática de su rostro a partir de los huesos de su cráneo hallados en el año 2005. Muchos expertos aseguran que los restos encontrados en una tumba son los del famoso astrónomo, y por tanto ésta sería la cara real que tendría cuando estaba dando tumbos sobre la Tierra. Resulta estremecedor ver este rostro. Es como si hubiéramos retrocedido cinco siglos y pudiéramos ver las arrugas de su cara, sus mofletes, y esos ojos que miraban su propia mano cuando escribió uno de los libros más impactantes de la historia del pensamiento humano.

Nicolás Copérnico nació en Polonia en 1473, una época en la que las cosas no eran precisamente sencillas. Los seres humanos en aquella zona estaban bastante enfadados entre sí y no eran demasiado simpáticos los unos con los otros. Sus padres murieron cuando él era pequeño, y de su educación se encargó su tío Lucas, hermano de su madre y obispo católico.

Copérnico, gracias a su tío, recibió una educación extraordinaria en las mejores universidades que existían en aquella época, y no sólo en su país, sino también en Italia, en la Universidad de Padua, la misma en la que estudiaría un siglo después el mismísimo Galileo Galilei.

Lucas tenía el sueño de convertir al sobrino en su sucesor como obispo. Lo intentó con todas sus fuerzas, pero no pudo conseguirlo. Sin embargo, logró que acabara siendo canónigo, una posición privilegiada dentro de la Iglesia.

Con el clérigo Copérnico la historia se ha portado de dos modos distintos, ambos totalmente exagerados. Por un lado, se le ha ninguneado, restándole importancia y arrancándole gran parte del mérito que sin duda tuvo. El hecho de que Aristarco

postulara la teoría heliocéntrica dos milenios antes ha dado a algunos la falsa idea de que la aportación del astrónomo polaco fue algo menor, un *remake* del pasado, mejorado tan sólo matemáticamente y con un par de pinceladas de observación. Se le ha llegado a llamar, injustamente, *el canónigo timorato*. Canónigo porque lo era, claro está, pero el calificativo seguramente es gratuito. Así lo llamó el pensador Arthur Koestler en su libro *Los sonámbulos*.

Recuerdo cuando leí hace mucho tiempo esa obra, extraordinaria en todo lo demás. Me sorprendió muchísimo que le restara importancia a quien fue, por lo que yo tenía entendido, el artífice de una de las mayores revoluciones científicas de todos los tiempos. Koestler ni tan siquiera consideraba a Copérnico como a un científico, a quien definía simplemente como a un matemático aburrido, un hombre cuyo único mérito había sido tomar una buena idea (el heliocentrismo) y escribir con ella un libro espantosamente gris.

Esta visión de Koestler es tan exagerada como esa otra que ve en Copérnico a uno de los mayores talentos científicos de la historia. Tal vez deberíamos dejar de empeñarnos en puntuar la genialidad de los científicos como si fueran futbolistas, cuyos goles les hacen ganar o perder de manera inmediata el título de pichichi. Hemos de aprender a apreciar el talento de otra manera, ampliando las características que convierten a un científico en profundamente valioso.

Por ejemplo, el mérito del cerebro de Copérnico tiene mucho más que ver con su *flexibilidad* que con su capacidad de *penetración*. En su época, el prestigio de Ptolomeo y de Aristóteles era inmenso. Nadie los cuestionaba. De Aristarco no se acordaba casi nadie y era una verdad aceptada por todos que la Tierra ocupaba la posición central en el universo. Plantearse que eso no era así y dedicar la vida entera a defenderlo denota una predisposición enorme a cuestionárselo todo. Y ése es también el espíritu de la ciencia.

Copérnico aprendió mucho en las universidades a las que acudió, pero se desconoce cuál fue el momento exacto en el que empezó a pensar que era el Sol, y no la Tierra, el astro que ocupaba la posición central. Lo que parece claro es que con el cambio de siglo, cuando se pasó del XV al XVI, la idea ya estaba instalada firmemente en su cabeza. Sus estudios clásicos demuestran que, con toda seguridad, conocía el trabajo de Aristarco, pero eso no debe hacernos creer que «le robó la idea». Las cosas no resultan tan sencillas. Como hemos visto antes, el genio griego fue el primero en postular el sistema heliocéntrico, pero no lo demostró mediante la observación ni le aplicó las matemáticas. Todo fue producto de una intuición, probablemente acerca del poder que ejercen los cuerpos grandes sobre los pequeños. Lo que estaba a punto de hacer Copérnico era otra cosa.

También se ha insinuado que nuestro héroe pudo inspirarse en las teorías de un astrónomo alemán llamado Johann Müller, conocido por su magnífico apodo: Regiomontano.

Siempre he pensado que, si yo hubiera sido un astrónomo, me habría encantado llamarme así. Creo que es el mejor nombre del mundo. Regiomontano fue un genio superdotado desde que era un crío. Era tan listo que casi daba rabia, y pudo haber sido

él quien pasara a la historia en vez de Copérnico si hubiera tenido la valentía de ir un poco más lejos, pero no lo hizo. Jamás propuso el heliocentrismo, aunque se le pasó en varias ocasiones por la cabeza.

Dos formas de explicar las cosas

¿Te acuerdas de los epiciclos de Claudio Ptolomeo? Para entender el movimiento insólito de los planetas, que iban hacia delante y hacia atrás de manera extrañísima, Ptolomeo añadió a las órbitas planetarias aquellas otras órbitas pequeñas.

Copérnico pensó que estos epiciclos resultaban bastante feos. Eran como un pegote, un parche poco elegante utilizado sólo para cuadrar las observaciones con la teoría. Y se le ocurrió que tal vez podrían eliminarse si se pensaba que ese movimiento azaroso de los planetas respecto al fondo de las estrellas era debido a otra cosa.

Si colocamos el Sol en el centro del sistema, los raros movimientos planetarios quedan explicados de inmediato sin necesidad de los epiciclos. El planeta no va y viene porque gire en su orbitita pequeña, sino porque la Tierra, en su giro alrededor del Sol, en ocasiones lo adelanta. Y es justo en ese momento cuando el planeta parece que va hacia atrás y luego hacia delante.

Copérnico se puso muy contento cuando se le ocurrió esta elegantísima explicación. Tenía la ventaja de aclarar las cosas y simplificarlas de manera asombrosa. Pero esa ilusión inicial quedó un poco eclipsada cuando él mismo se vio obligado a añadir epiciclos a su sistema heliocéntrico.

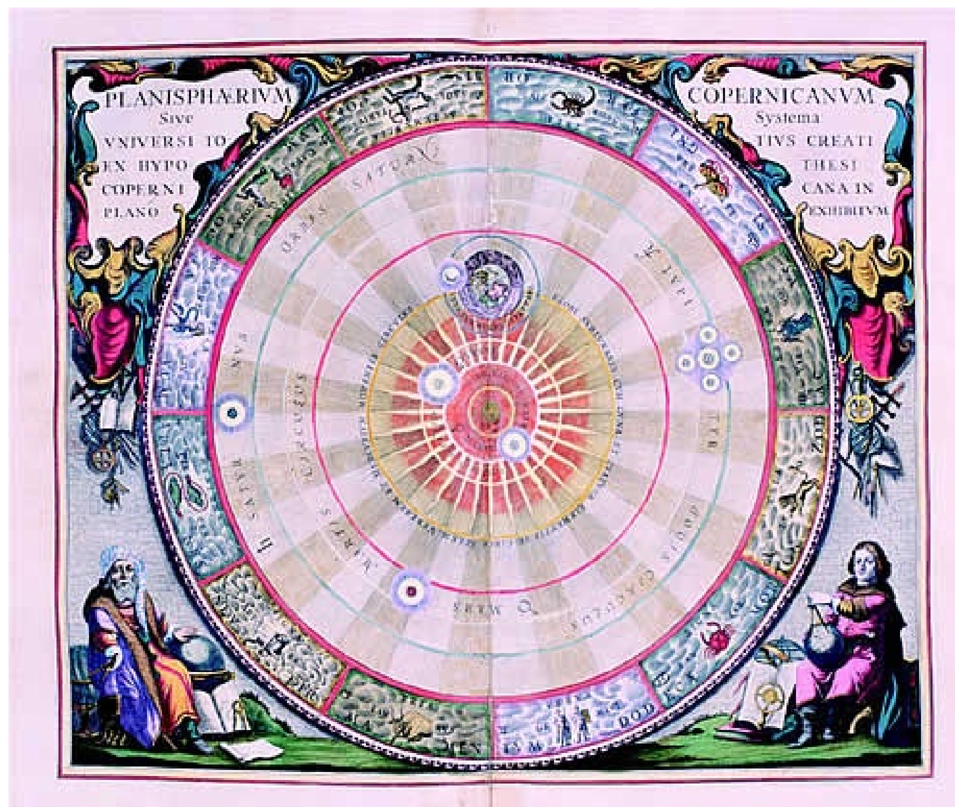
Eso es algo que normalmente no se dice. Se supone que Copérnico eliminó los epiciclos de un plumazo, pero lo cierto es que terminó poniendo tantos parches a su sistema como los que había incluido Ptolomeo. Esos «pegotes» se explican por un hecho muy sencillo: el Sol no está exactamente en el centro del sistema solar, sino un poquito desplazado. Y si no sabes eso, tendrás que acabar parcheando todo el sistema para que los hechos concuerden con tu teoría. Eso es lo que le pasó a nuestro clérigo polaco.

Al margen de eso, es obvio que la teoría de Copérnico era maravillosa. Nuestro amigo, sin embargo, no se atrevía a publicarla. ¿Por qué?

Complejo de inferioridad

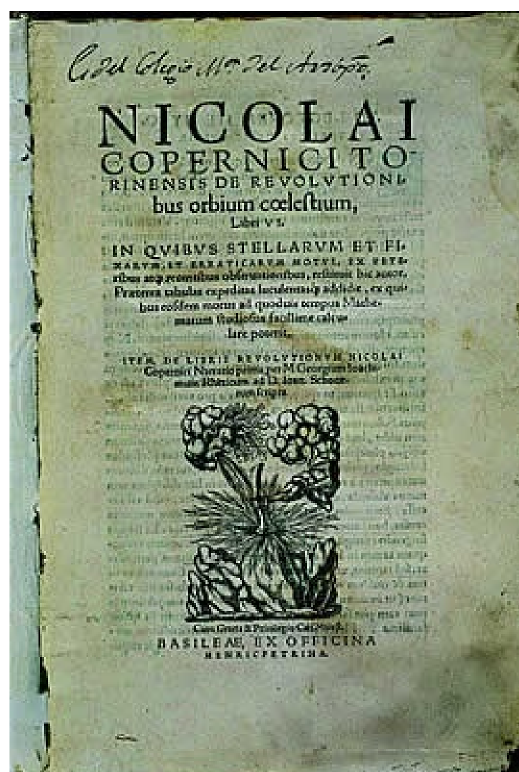
Suele responderse a esto diciendo que temía la reacción de la Iglesia, pero las cosas no son siempre tan sencillas. De hecho, él, como canónigo y sobrino de obispo, era parte importante de esa institución y no veía motivos para asustarse. Lo que lo acobardaba de verdad era la opinión de sus propios colegas. Y es que Copérnico tenía algo que

podríamos definir como *complejo de inferioridad científica*. No obtuvo nunca los títulos académicos necesarios y eso le hacía sentirse mortalmente inseguro. Se veía a sí mismo como un simple aficionado, y le aterraba que los científicos se pudieran reír de él si publicaba su trabajo. Así que el hombre fue retrasando todo lo que pudo la publicación del libro en el que expondría su nuevo sistema del mundo. Tan sólo se atrevió a divulgar un pequeño comentario, pero nunca la gran obra, jamás el superlibro. Éste terminaría publicándose tres días después de su muerte.



Éste es el sistema solar de Copérnico. Continúan ahí esas esferas invisibles que sujetan los planetas, las mismas bolas transparentes que ayudaron a Ptolomeo a entender que algo pudiera estar aparentemente flotando. Newton aún no había nacido para explicarle que algo puede estar suspendido en el vacío sin necesidad de que nada lo sujete. A pesar de esa similitud con el sistema de Ptolomeo, hay una asombrosa diferencia. El Sol, aquel astro cuyo tamaño quiso medir Aristarco, está ahora situado en el mismísimo centro. Suele decirse que desde ese momento el mundo ya no volvió a ser el mismo. Por desgracia, se trata tan sólo de una frase bienintencionada, producto tal vez del intenso deseo de que la razón termine triunfando definitivamente, pero el mundo de la gente común continuó exactamente igual, con sus disputas domésticas, sus risas, sus peleas y sus guerras espantosas.

Al morir de una embolia antes de la publicación del libro, nunca supo el tremendo impacto que causó su obra, ni se enteró jamás de los apoyos que recibió, ni tampoco de las críticas y censuras, persecuciones y aplausos que le procuraría.



NICOLAI
COPERNICI TO-
RINENSIS DE REVOLVTIONI-
bus orbium coelestium,
Libri VI.
IN QVIBVS STELLARVM ET FI-
BASILEAE, EX OFFICINA

Interior del libro *De revolutionibus orbium coelestium*.

El trabajo de Copérnico quedaría pulido y ampliado gracias a un genio llamado Johannes Kepler. Este astrónomo neurótico, genial y tembloroso comprendió que las órbitas de los planetas alrededor del Sol no podían ser circulares, sino elípticas. Una elipse es como un círculo pero ligeramente aplastado. Esto dificultaba mucho la existencia de esas esferas acristaladas que sostenían los planetas en sus órbitas. Una órbita elíptica es incompatible con una esfera invisible que gira.

Kepler fue el hombre que, después de dos mil años, arrancó del universo las esferas de cristal. Además, sembró las bases para que nuestro amigo Newton pudiera elaborar con precisión matemática su teoría de la gravitación universal. Su genialidad fue asombrosa. En cierto modo, representa al científico enamorado obsesivamente de la realidad.

Gracias a Kepler sabemos que las órbitas son elípticas. A Copérnico le habría ido bien saberlo.

En esa misma época, nuestro amigo Galileo también ayudó a que la teoría heliocéntrica de Copérnico fuera tomada en consideración. La principal crítica que se hacía a la hipótesis de una Tierra en movimiento era que deberíamos notarlo. De algún modo, decían, nos tambalearíamos si el suelo de nuestro planeta se moviera bajo nuestros pies. Uno de los argumentos preferidos en la época era el siguiente: si das un brinco y subes un poquito en el aire, al caer deberías quedarte algo más atrás, ya que mientras estás en el aire el planeta ha avanzado un poco. Para negar estas afirmaciones, Galileo ideó algo maravilloso.

Un barco casi einsteniano

Imaginó un barco que flotaba en el mar, desplazándose a una velocidad constante. Dentro de él, encerrado en un camarote, nadie podría saber si el barco estaba quieto o navegando. Imaginemos que las olas son imperceptibles, en un día agradable y calmado. Dentro de ese camarote, las leyes de la física serían exactamente las mismas que en tierra firme. Si das un salto, caes en el mismo lugar. El hecho de que el barco avance sobre el mar no implica que las cosas tengan que alterarse en el interior. Una mariposa volando allí dentro no tendría ni idea de si está en la habitación de una casa en la montaña o en el interior de un barco en alta mar.

Esto se conoce como *principio de relatividad de Galileo*. Tal vez asocies la palabra *relatividad* solamente a Albert Einstein y te sorprenda leerla aquí. Luego veremos que Einstein amplía este principio de relatividad hasta límites que no puedes ahora ni imaginar.

Pero fue Isaac Newton con su teoría de la gravitación quien terminaría aclarándolo todo. Las esferas de cristal no eran precisas porque la fuerza de la gravedad explicaba por sí sola la suspensión en el vacío. El soporte se hacía perfectamente innecesario.

Más sobre la vanidad

Ya te he hablado antes de la falsa idea que afirma que el heliocentrismo nos hizo a la humanidad una jugarreta tremenda al arrancarnos de nuestra posición central en el universo. Siempre que se habla de este asunto, se comenta que aquello supuso un trauma para el vanidoso ser humano que se vio de repente privado de su trono. En casi todos los libros que hablan de nuestro clérigo, podrás encontrar reflexiones más o menos similares. Antes ya te he manifestado mi oposición a esta idea. Ahora quiero ampliártela, porque desde entonces has aprendido algunas cosas que no sabías.

Recordarás que Aristóteles consideraba que el cielo era lo perfecto y la Tierra era rotundamente espantosa. Por tanto, el centro del universo era lo peor. Lo magnífico estaba siempre lejos de la posición central. La expulsión copernicana del centro cósmico no fue, en realidad, algo tan negativo. *Centro* es un concepto que ahora tendemos a ensalzar (poseer un piso céntrico es prestigioso), pero durante mucho tiempo simbolizó la parte más horrorosa del universo. No es de extrañar que siglos después el propio Dante colocara el infierno en el mismísimo centro de la Tierra.

Y ahora, si me lo permites, quiero contarte algo que hemos dado por supuesto, pero que merece una atención especial. Nos hemos emocionado mucho con las órbitas, los planetas y la gravitación universal, pero hemos olvidado lo esencial.



Dante y Virgilio en su recorrido por el infierno.

Una bola que flota

Para la mayoría de la gente, la ciencia es una inmensa fábrica de descubrimientos. Sin embargo, ésa es sólo una parte de la verdad. Uno de sus grandes méritos es que nos provoca una duda constante. En cuanto decidimos pensar con espíritu científico, empezamos a cuestionárnoslo todo. Hay personas a las que les aterra la duda. La imaginan como algo espantoso y tremendamente frío, cuando lo cierto es que es la base de casi todas las alegrías intelectuales de las que podemos disfrutar. La ciencia, además de generar descubrimientos, tiene la gran virtud de fabricar dudas y perplejidades a una velocidad vertiginosa.

Por ejemplo, yo he dibujado en las páginas anteriores unas cuantas veces el planeta Tierra. ¿Qué forma le he dado? La de una esfera, claro está. Vivimos en el siglo XXI y todos damos por supuesto que la Tierra tiene esa forma. El descubrimiento de que no es plana fue causado cuando alguien dudó por primera vez de aquello que el sentido común le animaba a creer. Durante muchísimo tiempo, como sabes, se daba por supuesto que era plana.

Muchos se ríen de esos hombres antiguos que pensaban que nuestro planeta se parecía a una lámina de papel extendido. Yo, como sabes, no puedo reírme de ellos. La idea de que en el pasado hemos estado equivocados nos da una pista magnífica acerca de lo mucho que podemos estarlo en el presente. Si durante mucho tiempo creímos

que nuestro planeta era perfectamente plano, ¿en qué otras cosas estaremos ahora equivocados por completo y, sobre todo, en qué nos equivocaremos una y otra vez en el futuro? La sensación que nos produce no estar seguros de todo aquello que creemos no es necesariamente negativa. En realidad, es una bendición, si me permites la expresión científicamente poco afortunada. Es magnífico que sea así, porque eso nos garantiza un futuro ausente de aburrimiento. Ver la falsedad de alguna de nuestras creencias trae, invariablemente, un regalo: el de haber atisbado una parte remota y difusa de verdad. Saber que algo es falso es, en sí mismo, una certeza.

Te voy a contar la historia de cómo se descubrió que este lugar en el que vivimos es una esfera. Tal vez no te apetezca en este instante. Pensarás que estamos retrocediendo en nuestro viaje por el universo. Ya hemos hablado de los planetas, del Sol y de la Luna, y ahora lo que apetecería, sin duda, sería abordar las estrellas, las galaxias, los agujeros negros, la teoría de la relatividad de Einstein y la posibilidad de viajar en el tiempo; en fin, todas esas cosas misteriosas que has oído que existen por ahí fuera.

Pero para llegar ahí es necesario, aunque sea por un momento, volver a la superficie de nuestro planeta. Desde ese lugar cogeremos impulso y llegaremos hasta las estrellas.

Eratóstenes

Aristarco no fue el único griego genial. Hubo muchísimos más. Otro fue Eratóstenes. Era director de la Biblioteca de Alejandría, el lugar lleno de libros que tanto llamó la atención al joven Aristarco y en el que trabajó Claudio Ptolomeo. Este hombre, con una inteligencia sorprendente, ha pasado a la historia por demostrar que todos vivimos caminando como locos despistados encima de una bolita, y además por calcular su tamaño sin la ayuda de nadie.



Eratóstenes

Eratóstenes era un tipo muy curioso. Le gustaba hacer de todo. No sólo le interesaban las matemáticas y la astronomía. Le encantaba también la poesía, la filosofía y el estudio del origen del lenguaje. Cuando alguien reúne estas características, suele decirse que «es todo un personaje del Renacimiento», olvidando que la acumulación de saberes en un único individuo es algo que también se produjo mucho antes. De hecho, es propio del «nacimiento», es decir, de la antigua Grecia, aquello que, afortunadamente, *renació* con el *renacimiento*.

Sea como fuere, la ocupación favorita de Eratóstenes, por encima de todas las demás, era leer. Estaba todo el día haciéndolo. Si retrocediéramos en el tiempo para hacerle una visita, es casi seguro que lo encontraríamos con los ojos a escasos cinco centímetros de un pergamino, abstraído de todo, tal vez sin reparar en nuestra llegada desde el remoto futuro. Teniendo el cargo más importante en la mejor biblioteca del mundo, no es difícil deducir que su vida resultó ser bastante entretenida.

Cuando se hizo viejo perdió la vista. Ya no podía leer y eso le provocó una gigantesca tristeza. Puedes pensar que tal vez hubiera sido una buena idea que le pidiera a alguien que lo hiciera por él, pero eso no resultaba tan sencillo, porque los textos que frecuentaba no eran fáciles de descifrar. Así que dejó de encontrarle sentido a la vida. Respirar y caminar se convirtieron para él en un gigantesco absurdo. Vivir sin leer era una estupidez, algo que él percibía como terriblemente hueco. Y decidió dejar de comer hasta morirse.

Sin embargo, su vida no fue en balde. Nos hizo a todos un regalo magnífico y se procuró a sí mismo momentos de una emoción indescriptible.

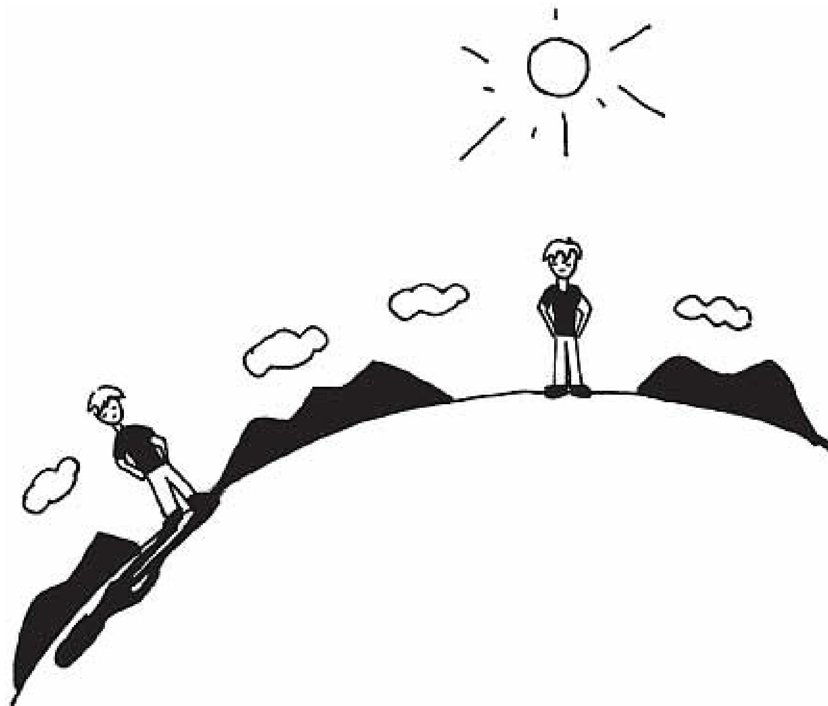
Te he contado el final de su vida antes de narrarte su gran descubrimiento porque me apetece acabar con la luz y no con la oscuridad. Así que vamos a ver qué hizo este hombre cuando sus ojos eran todavía magníficos y vivía alegre y feliz, lleno de ilusión y juventud, paseando confiado por su soleada ciudad.

Un día, mientras curioseaba en la biblioteca, leyó un libro en el que se decía que en Siena (la actual ciudad de Asuán, en Egipto), en un determinado día del año, a eso del mediodía, el Sol se encontraba justo encima de la cabeza. Por tanto, las personas que estaban de pie no proyectaban ninguna sombra.

A lo mejor este dato a ti no te parece especialmente emocionante, pero Eratóstenes se quedó algo pensativo. Él vivía en Alejandría, otra ciudad, y sabía que, el mismo día y a la misma hora, el Sol no estaba situado ni mucho menos encima de su cabeza, sino que formaba un ángulo de unos setenta grados. Por tanto, al mismo tiempo, en Alejandría había sombra y en Siena, no. ¿Qué podría significar eso?

La única explicación posible era que el camino entre Siena y Alejandría estuviera curvado por una montaña.

Eso explicaría perfectamente la sombra inclinada de Alejandría al recibir los rayos del Sol. Pero por mucho que Eratóstenes la buscara, no veía ninguna curva entre las dos ciudades. No había ninguna montaña que provocara esa forma. De existir, una de las dos ciudades estaría situada en una pendiente, y ése no era el caso. ¿Dónde encontrar, pues, la curva?



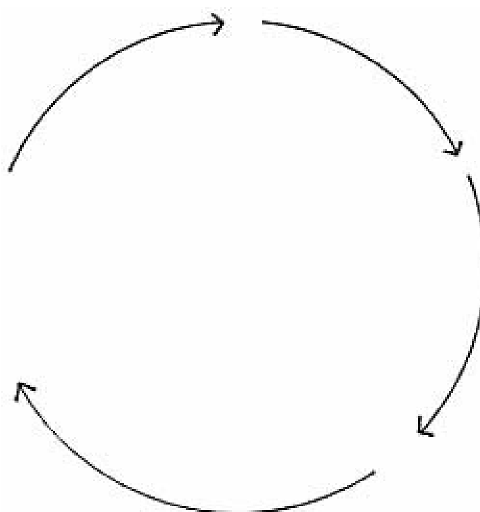
Nuestro protagonista cerró los ojos y se atrevió a pensar como un científico, desafiando el sentido común, sin tener miedo a que la respuesta pudiera resultarle extraña. Si había una curva, pensó, ésta tenía que ser una propiedad intrínseca del planeta.

El momento exacto en que Eratóstenes tuvo esta idea es uno de los más importantes en la historia de nuestra civilización. Y es aquí donde, de nuevo, entra en acción nuestra magnífica palabra, ¿recuerdas?

GENERALIZAR

Si el camino entre ambas ciudades estaba curvado, ¿por qué no iba a estarlo también el resto de los caminos? ¿Y si fuera todo el planeta una inmensa curva?

¿Y cómo terminan las curvas si las proyectas?



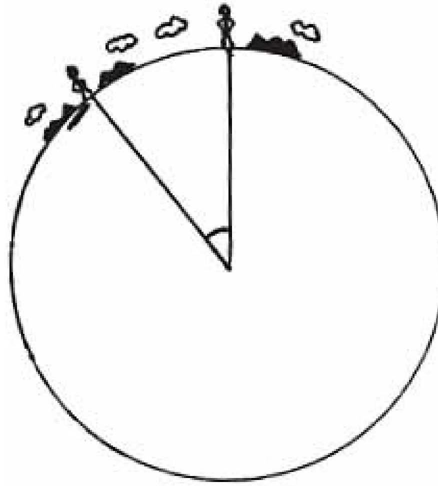
Efectivamente, terminan en un círculo. La Tierra era redonda. Esta deducción del bibliotecario Eratóstenes es portentosa. Pero el hombre no se conformó con deducir la forma de nuestro planeta, sino que quiso dar un paso de gigante y medirla, costara lo que costase.

Para efectuar esa medición sólo se tenía que recurrir a la trigonometría básica. De nuevo, los sencillos triángulos podrían ayudar a entender el mundo. Eratóstenes era un estupendo matemático y, conociendo la distancia entre Alejandría y Siena y el ángulo del Sol en esta última ciudad, podría calcular la circunferencia de la Tierra. Una sencilla multiplicación podría ofrecer por primera vez una respuesta que haría avanzar la ciencia de un modo sorprendente. Saber la distancia entre las dos ciudades fue bastante fácil: envió a una persona para que caminara y le dijera cuántos pasos había.

Me encantaría saber qué diablos pensaría el hombre que efectuó esa medición, qué dijo en su casa cuando partió y cuál fue la reacción de los suyos. Probablemente su familia imaginó que todo aquello no era más que una excusa para estar unos días fuera. Su esposa, si la tenía, pudo pensar que en alguna parte le esperaba una muchacha más joven, o sencillamente que necesitaba airearse. Por desgracia, la historia no recoge estas cosas. En cualquier caso, es seguro que el caminante medidor no era en absoluto consciente de la importancia histórica de su paseo. Haría el recorrido centrado en sus cosas, tal vez teniendo en su cabeza sólo la recompensa que obtendría al finalizar el viaje, o pensando que el científico que le hizo el encargo era un perezoso que muy bien podría haber efectuado el cansadísimo trayecto si tanto interés tenía, pero lo que es innegable es que lo hizo muy bien, porque la cifra que le entregó a Eratóstenes resultó bastante precisa.

Una vez que el sabio tuvo ese dato, realizó un sencillo cálculo. Imaginó dos líneas que salieran de ambas ciudades y convergieran en el centro de un círculo. Sabiendo los grados de su ángulo interior, sólo tenía que hacer una multiplicación.

¿Cuántos grados como ése caben en una circunferencia de 360? Multiplicó ese dato por la distancia entre ambas ciudades y el resultado fue, con una gran exactitud, la circunferencia de nuestro planeta, aproximadamente unos 40.000 kilómetros.



Él, al igual que Aristarco de Samos, realizó una proeza utilizando solamente matemáticas elementales. Gracias a ellos, la humanidad supo hace más de dos mil años que la Tierra gira en torno al Sol y conoció el tamaño de esa esfera azulada que nosotros ahora insistimos en contaminar. Quién sabe si, en el momento de suicidarse, el pobre hombre era consciente de lo mucho que aportó a la historia de la ciencia. Probablemente no tenía ni la más remota idea, porque en muchas ocasiones la inteligencia queda eclipsada por los asuntos mundanos.

Y, ahora sí, vámonos a las estrellas.

Las estrellas

Están por todas partes, repartidas por el cielo de un modo aparentemente azaroso. Es como si alguien hubiera lanzado al aire un montón de azúcar luminoso que se hubiera quedado flotando allí para siempre.



¿Qué son, exactamente? Los antiguos se formularon esta pregunta y dieron respuestas para todos los gustos. Para algunos, las estrellas eran fuegos que algún dios con vocación de decorador cósmico había encendido con el fin de adornar las noches. Es una descripción poética, pero rotundamente falsa. Los seres humanos tenemos una tendencia obsesiva a pensar que todo lo que nos rodea, desde los animales más pequeños hasta las estrellas más lejanas, tiene el propósito de servir a nuestros intereses particulares. Aunque la ciencia demuestra que esa idea vanidosa no tiene el más mínimo fundamento, lo cierto es que difícilmente podemos quitárnosla de encima.

Otros pensaron que las estrellas eran agujeros en el cielo por los que se filtraba un inmenso fuego que había detrás de ellos. Puede parecer una idea tonta, pero tiene la ventaja de simplificar bastante las cosas. En ese sentido, es una hipótesis científica. No es preciso que existan miles de fuegos pequeñitos. Todo se soluciona simplemente con uno.

Esta teoría del montón de agujeros me pareció magnífica cuando la conocí por primera vez. Recuerdo que la leí un día en el tren y de repente admiré a los antiguos que la habían ideado, sintiéndome profundamente orgulloso de ellos. Unos tipos que deciden simplificar la realidad, convirtiendo lo múltiple en uno, tenían que ser necesariamente bastante listos.

Pero, claro está, esta teoría primitiva, aunque notablemente más sutil que la del decorador universal, también ha resultado ser errónea. No siempre lo admirable resulta ser verdadero, aunque lo verdadero siempre es admirable.

Para empezar a responder a la pregunta de qué son las estrellas, fue preciso advertir algo que, por evidente, pasó desapercibido durante muchísimo tiempo: las estrellas no se mueven de forma individual; lo hacen todas a la vez. No son como las

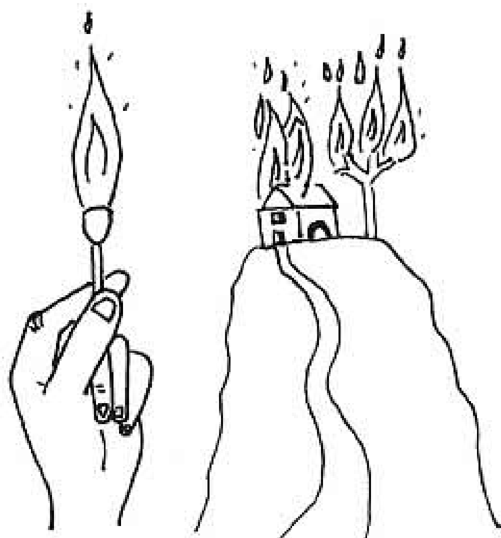
moscas, que van a su rollo, sino como una bandada organizada de pájaros, perfectamente sincronizados, moviéndose en conjunto, conservando siempre las distancias entre ellos. Recordarás que esa pulcritud en el movimiento estelar en comparación con el movimiento aparentemente errático de los planetas es lo que provocó que Claudio Ptolomeo se viera obligado a incluir los epiciclos.

Aun así, las estrellas están todavía más organizadas que los pájaros. Lo están tanto que podríamos decir que su comportamiento es cuadriculado y aburrido en exceso. Se mueven de un modo perfectamente predecible, sin ningún espíritu aventurero (la palabra *aventura* viene de *moverse con el viento*), y todas ellas giran en el cielo, alrededor de una especie de invisible bóveda.

¿Por qué se mueven así? ¿Cómo se ponen de acuerdo? ¿Están unidas con invisibles cuerdas para no perderse ni separarse unas de las otras? La respuesta no es demasiado complicada si recordamos las enseñanzas de Aristarco y Copérnico. Nuestro planeta se mueve alrededor del Sol y tarda un año en realizar una vuelta completa. Los antiguos observadores comprobaron que ciertas estrellas nos hacían una visita anual. Demasiada casualidad, ¿no crees? Resultó lógico unir ambos hechos y deducir que las estrellas están más o menos quietas allá arriba, y que su retorno cada doce meses es el resultado de la traslación de nuestro planeta alrededor del Sol. Visto así, fue buena idea que desde hace muchísimo tiempo se las llamara *estrellas fijas*.

Aunque sepamos que están repartidas alrededor de nosotros, seguimos sin saber qué son. Las vemos como puntos de luz, pero no tenemos ni idea de cuál es su tamaño ni a qué distancia se encuentran.

¿Son luces pequeñas que están cerca, o tal vez son enormes bolas de luz que están terriblemente lejos? A simple vista, es difícil responder esta pregunta. Una cerilla encendida a un metro de distancia tiene el mismo tamaño que un gigantesco incendio en un edificio al otro extremo de la ciudad. ¿Las estrellas son cerillas o son incendios?



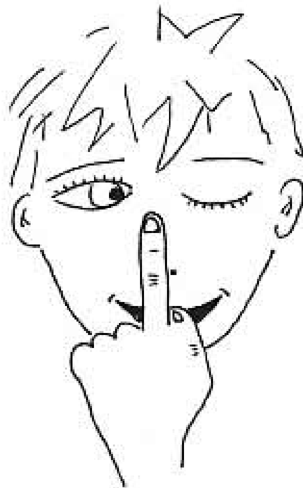
Esta pregunta parece no tener respuesta, pero lo cierto es que la tienes muy cerca.

El dedo en la nariz

Resulta curioso que todas las dudas anteriores puedan empezar a aclararse con algo que siempre hemos tenido a mano. Sin embargo, tal como aprendimos de Newton, son esos elementos cotidianos los que siempre suelen ofrecernos la clave para llegar muy lejos. Pensemos en la nariz.

Se considera una muestra de mala educación meterse un dedo ahí dentro, por lo que no te voy a pedir que lo introduzcas, pero te rogaría que *casi* lo hagas.

Coloca ahora mismo un dedo, el que quieras, justo enfrente de tu nariz. Cuando lo tengas, míralo con el ojo derecho, cerrando el izquierdo.



Ahora haz lo mismo con el otro ojo. Mira el dedo con el ojo izquierdo, cerrando el derecho.

Aunque parezca que te estoy tomando el pelo, lo cierto es que te estoy enseñando un método ingenioso para medir la distancia a las estrellas. ¿Cómo es eso posible? Muy fácil. Repite lo que has hecho, pero alternando ahora un ojo con el otro. No te dé vergüenza saber que estás haciendo gestos absurdos. Mira el dedo con el ojo derecho, luego con el izquierdo, luego con el derecho.

¿Qué notas? Aparentemente nada, pero fíjate en lo que hay al fondo. El dedo, misteriosamente, parece cambiar de posición respecto a lo que hay más allá. Si estás realizando este experimento en tu habitación, notarás que tu dedo está en una posición respecto a la pared de enfrente cuando lo miras con el ojo derecho y en otro lugar distinto cuando lo haces con el izquierdo. A eso los científicos lo llaman *paralaje*, y gracias a ello hemos logrado medir el universo.

Separa más el dedo, alejándolo de tu nariz. Estira el brazo todo lo que puedas, manteniendo el dedo a la misma altura.

Repite ahora el experimento anterior, mirando el dedo con un ojo y luego con el otro. Sin duda, apreciarás un cambio importante. El dedo ahora se mueve mucho menos respecto al fondo.

Estamos a punto de deducir una ley científica. Cuando el dedo está cerca, la diferencia en la posición respecto al fondo al cambiar de ojo es grande, pero cuando ese mismo dedo está lejos la variación es pequeña. Si lo piensas bien, éste puede ser un método perfecto para conocer la distancia que separa un dedo de nuestro ojo.

Y si esto es válido para saber la distancia a la que están los dedos, ¿por qué no iba a servir también para saber la distancia a la que están las estrellas?

De nuevo, acabamos de efectuar una generalización. Ya llevamos varias desde que iniciamos esta aventura, por lo que cada vez resulta más evidente que estamos ante una herramienta fabulosa para entender la realidad. Lo único que tenemos que hacer ahora es experimentar para saber si esta generalización resulta eficaz.

Vamos a probarlo. Cuando sea de noche, sal a la calle y mira una estrella —cualquiera, la que sea— con el ojo derecho. Luego hazlo con el izquierdo. ¿Cambia de posición?

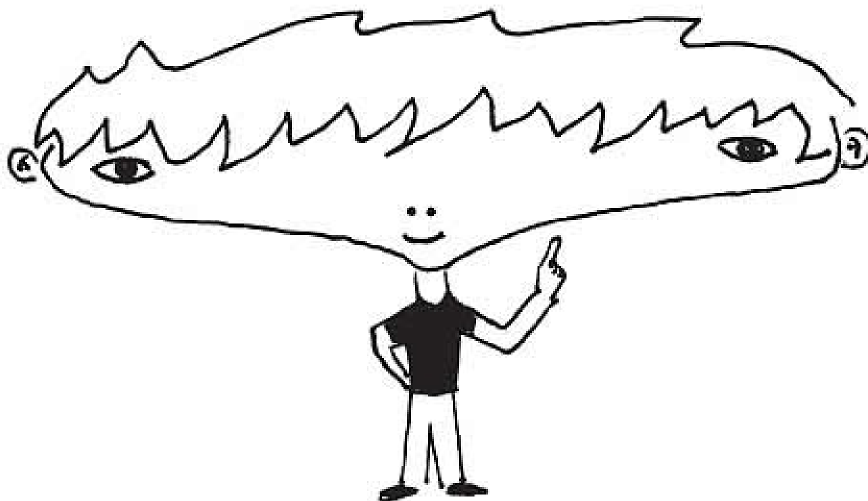
No es necesario que esperes a que anochezca para salir a la calle. Uno nunca sabe qué clase de tipos puedes encontrarte ahí fuera. Te daré yo la respuesta: no hay ninguna diferencia en la posición de la estrella al alternar el ojo con el que la miras. ¿Por qué?

Ya hemos visto que, cuando alargamos el brazo para separar el dedo, la diferencia en el cambio de lo observado respecto al fondo se hace menor. Si tuviéramos un brazo muy largo y pusiéramos el dedo a una gran distancia, ese cambio de posición sería inapreciable.

Si al observar una estrella no notamos diferencia tanto si la miramos con un ojo como si lo hacemos con el otro, ¿qué significa exactamente?

La respuesta es obvia: sólo puede significar que las estrellas están muy lejos.

Todo sería mucho más sencillo si tuviéramos los ojos más separados. Si entre el ojo derecho y el izquierdo hubiera una gran distancia, en vez de los siete centímetros que los separan, podríamos apreciar cambios de paralaje mayores aunque el objeto que observáramos estuviera más distante. Afortunadamente, nuestros ojos están muy bien así, aunque eso suponga un gran problema a la hora de calcular distancias.



Sin embargo, tenemos la posibilidad de hacer una pequeña trampa. En vez de mirar primero con el ojo derecho y luego con el izquierdo, podemos observar un objeto con ambos, luego ir caminando hasta otro sitio muy lejano y volver a contemplarlo. Ir de un lado a otro nos permite simular que tenemos ojos separados.

Ésta fue la idea que se les ocurrió a los científicos para calcular distancias lejanas. ¿Te das cuenta de qué cosas más raras puede llegar a pensar el ser humano cuando desea con todas sus fuerzas comprender el mundo? Eso siempre me ha provocado una emoción divertida. Los científicos, que normalmente son vistos como tipos serios y reconcentrados, suelen comportarse como niños que juegan con la realidad. La idea más disparatada, aquella de la que se reirían los demás, es para ellos algo de un valor tremendo.

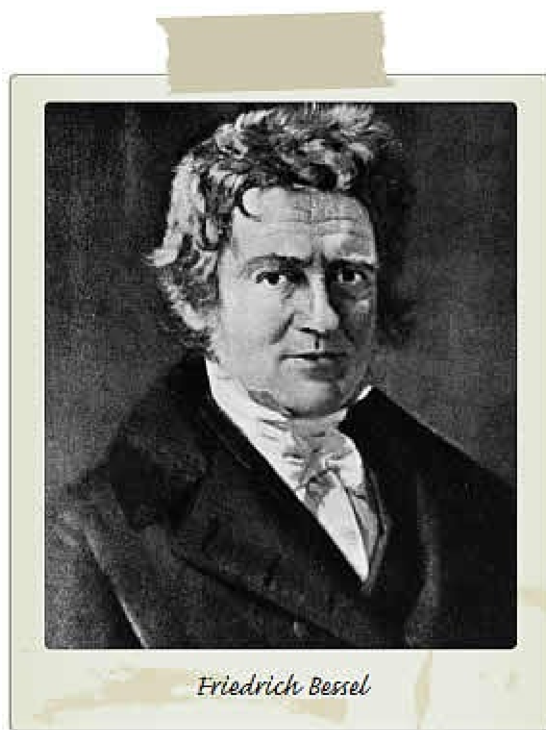
Así que, un buen día, unos astrónomos decidieron observar una estrella desde un lugar de nuestro planeta mientras otros colegas suyos miraban la misma estrella desde otro sitio situado a mucha distancia.

Observaron que tampoco había diferencia. La estrella estaba en la misma posición, independientemente del lugar desde el que la estuvieran observando.

La idea de paralaje, por el momento, no pudo ayudarnos a saber a qué distancia nos encontramos de esas lucecitas en el cielo. Sin embargo, ese primer fracaso tuvo su recompensa, porque nos dejó claro que las estrellas estaban situadas más lejos de lo que nunca nadie había llegado a imaginar. El paralaje no fue desechado. Era una técnica demasiado valiosa como para tirarla a la basura. Simplemente, había que esperar a que alguien tuviera una idea mejor para utilizarla. Y ese hombre llegó. Se llamaba Bessel y en el año 1838 hizo algo extraordinario.

La distancia a un cisne

El alemán Friedrich Bessel, como puedes ver en esta fotografía, no era el hombre más atractivo de su época, pero fue un tipo magnífico. Nació en el verano del año 1784. Se le recuerda como un matemático y astrónomo realmente minucioso. Algunos creen que su meticulosidad era obsesiva, porque repasaba sus mediciones una y otra vez hasta llegar al agotamiento físico. Su precisión a la hora de realizar trabajos con telescopios le valió el reconocimiento inmediato de la mayoría de los científicos, aunque probablemente le ocasionara algún trastorno emocional. Por decirlo de otro modo: era una persona estupenda, pero mejor no tenerlo como compañero de piso.

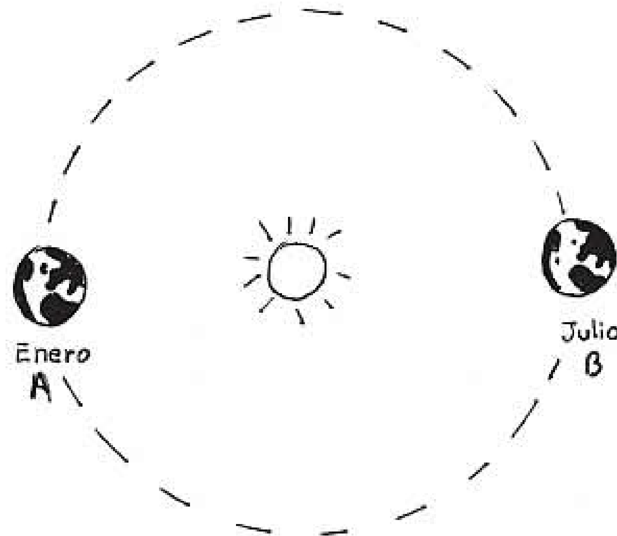

Friedrich Bessel

Bessel estaba entusiasmado con la idea del paralaje como método para calcular distancias enormes. Su deseo era saber cuántos kilómetros nos separan de las estrellas, pero se sentía algo decepcionado al comprobar que el cambio de posición observado tras mirarlas desde lugares diferentes de la Tierra era totalmente inapreciable. Como has visto, se necesitan mayores distancias para conseguir ese efecto.

La tragedia es que en la Tierra no hay lugares más alejados que la Tierra misma. El diámetro de nuestro planeta es el que es y no da más de sí. No podemos ensancharlo a nuestro antojo sólo porque necesitemos distancias más grandes. Ahora podemos salir fuera, e incluso ir a la Luna o enviar satélites de observación más allá de Júpiter, pero en el siglo XIX eso era impensable. El lugar más lejano al que podía viajarse entonces

era la antípoda del sitio de partida. Si salías de España, podías ir hasta Australia, pero ahí terminaba la cosa. Y eso, aunque a ti y a mí nos parezca un gran viaje, no servía a la hora de calcular paralajes estelares. ¿Cómo actuar, pues?

Bessel hizo algo extraordinario. Si el tamaño de la Tierra era pequeño para observar el paralaje en las estrellas, utilizaría una distancia mayor. Pero ¿cuál, si ya hemos quedado en que no podía salir de este planeta? ¿Estaba Bessel soñando despierto, había enloquecido de tanto calcular? ¿En qué estaba pensando realmente? Muy fácil: en el tamaño inmenso del diámetro de la órbita de la Tierra.



Nuestro planeta, como ya sabes, da una vuelta completa en torno al Sol cada año. En medio año, por tanto, media vuelta. Cada seis meses, pasamos de estar en un lado del Sol a encontrarnos en el lugar opuesto. Y entre ambos puntos hay una distancia muy grande, mucho más que la que separa un punto terrestre de sus antípodas. Ese viaje lo hacemos sin darnos cuenta, sin salir de aquí, incluso sin movernos de casa. Bastaría, por tanto, con que Bessel mirara una estrella cuando nuestro planeta estuviera en el lado A de la órbita y con que, medio año después, cuando nuestro planeta estuviera en la posición B, volviera a apuntar su telescopio en la misma dirección.

Eligió la estrella número 61 de la constelación del Cisne. Podría haber escogido cualquier otra, pero ésta le gustaba especialmente. En ocasiones los científicos tienen preferencias que los demás no terminamos de comprender del todo. Por alguna extraña razón se enamoró de ese punto luminoso.

Miró a su adorada estrella una noche en la que el cielo estaba despejado y se sintió feliz. Volvió a mirarla la noche siguiente, y cada vez tenía más cariño a esa remota luz. Hasta que un buen día decidió hacerlo.

Con la ayuda de un telescopio y de unos aparatos para medir la posición de las estrellas en el cielo, observó la número 61 de la constelación del Cisne. Esperó pacientemente medio año y la volvió a mirar con su telescopio.

Durante esos seis meses, se moría de ganas de saber si se apreciaría algún cambio en el paralaje. Me lo imagino en su casa, nervioso, mirando un tristísimo calendario, deseando que avanzaran rápido las semanas y los meses. No debió de resultarle una espera fácil.

Pasó el medio año y volvió a mirar su estrella. De nuevo midió su posición relativa respecto al fondo del cielo. Y ¿sabes qué?

¡Hubo paralaje!

¡Se notó un cambio de posición respecto al fondo! Por primera vez en la historia de la humanidad, alguien veía que a una estrella le pasaba lo mismo que a nuestro dedo cuando lo miramos alternativamente con un ojo y con otro.

La pequeña piedra de Newton, aquella que tú lanzaste hace ya algunas páginas, nos recuerda de nuevo que algo sencillo puede darnos excelentes resultados. Ahora es un dedo índice situado a un palmo de nuestra nariz. Qué más da, piedras o dedos; lo importante es que somos capaces de ensanchar la realidad si reflexionamos convenientemente sobre todo aquello que tenemos a nuestro alcance.

Contento, nuestro héroe anotó la magnitud de ese cambio y, empleando una sencilla fórmula matemática, calculó que esa estrella estaba a 10,4 años luz. Hoy sabemos que está sólo un poquito más lejos, a 11,4 años luz, pero su cálculo fue extraordinariamente preciso para la época.

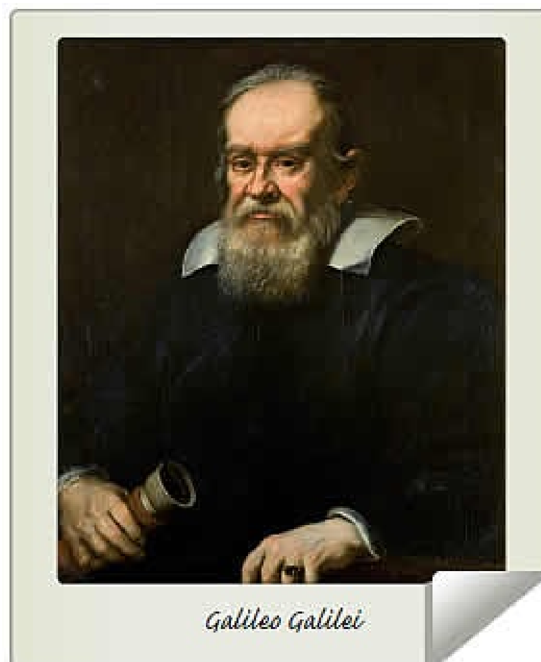
Bessel fue el primer ser humano en calcular la distancia que nos separa de una estrella. Centenares de miles de años de existencia del ser humano sobre la Tierra, millones de hombres y mujeres que habían mirado al cielo preguntándose lo lejos que estaban esas luces amarillas que temblaban por las noches como insectos nerviosos, creando historias, cuentos, fábulas, rompiéndose la cabeza de tanto pensar, haciendo suposiciones erróneas, acertadas, poéticas, locas, incoherentes, geniales e idiotas. Y durante todo ese tiempo, nadie, absolutamente nadie antes que Bessel, había obtenido una respuesta cierta al respecto. ¿Te imaginas lo que debió de sentir nuestro amigo? ¿Qué sentirías tú si fueras el primero de la especie humana en descubrir algo, cualquier cosa, lo que sea? Evidentemente, una satisfacción fuera de toda magnitud, probablemente más unida a la belleza que genera la visión de lo nuevo que a la absurda vanidad.

Bien, antes de ponerme poético, te había dicho algo en lo que deberíamos fijarnos mejor. La distancia a la estrella 61 de la constelación del Cisne es de 11,4 años luz. ¿Qué diablos significa eso de *años luz*? ¿Cómo es posible que hable de años, que es una unidad temporal, para darte el dato de una distancia?

Para responder a esta pregunta, debemos retroceder en el tiempo para conocer a fondo a un hombre extrovertido y simpático, tal vez demasiado hablador, del que sólo te he comentado algunas cosas.

Galileo

Él tampoco fue el más guapo de su tiempo, pero tuvo una cualidad infinitamente más importante: fue un genio de arriba abajo. De hecho, se le considera el padre de la ciencia moderna. Y eso es muchísimo, como puedes comprender. Tal vez te parezca un piropo excesivo, pero te aseguro que en su caso está bastante justificado. Sus descubrimientos cambiaron la manera de entender la ciencia y el universo. En cierto modo recuerda a aquellos antiguos científicos griegos de los que antes te he hablado. Galileo, como ellos, mezcló la observación con las matemáticas, pero dio un paso más, convirtiendo el mundo entero en un gigantesco laboratorio en el que él experimentaba a sus anchas. Cualquier cosa que pudiera ser calculada y medida era objeto de su interés. Y, por suerte para él, el mundo está repleto de hechos mensurables y calculables. A veces, la configuración de este mundo, por sí misma, genera felicidad en cierto tipo de personas.


Galileo Galilei

Nuestro hombre nació en Italia, concretamente en Pisa, en el año 1564. Su padre era un matemático y músico llamado Vincenzo que tenía un talento enorme para la innovación en su oficio. No se conformaba sólo con estudiar a fondo las formas musicales de la época, sino que además experimentaba para crear nuevos modelos armónicos. No llegó a tener el talento de su hijo, claro está, pero su aportación a la historia de la música es importantísima.

Una de sus características más destacables es que la religión no le gustaba demasiado. Casi podríamos decir que le tenía un poco de manía a las sotanas y a los crucifijos. No podía soportar todo eso. Su actitud, en aquella época, no era la más

común. La religiosidad estaba muy instalada en el cerebro de casi todo el mundo, y ser escéptico respecto a la existencia de Dios era algo que te diferenciaba de la mayoría. Vincenzo, en cierto modo, fue un bicho raro.

En una época de su vida, tuvo que marchar a Florencia por cuestiones de trabajo. Lo normal hubiera sido llevarse a su hijo Galileo con él, que entonces era un niño de sólo diez años. Pero le fue imposible. Así que habló con un vecino llamado Jacobo, un tipo serio y honesto en quien se podía confiar, y le suplicó que se encargara de la educación del chaval durante el tiempo que él iba a estar ausente.

Jacobo aceptó el encargo, pero no se le ocurrió nada mejor que ingresar al muchacho en un convento. El disgusto del descreído padre cuando se enteró de la decisión de su vecino fue enorme, como puedes imaginar. Pero lo que más le dolió fue saber que su adorado hijo estaba planteándose con cierta solemnidad dedicar su vida a la religión. Visualizar a su Galileo convertido en sacerdote, con los ojos entornados y hablando en voz baja con un Dios en el que no creía, era algo que no podía tolerar. Vincenzo se juró parar aquello cuanto antes, pasara lo que pasase, y se las ingenió para sacar al muchacho del convento a la menor oportunidad que tuvo.

Y ahora mira esta portada de diario.



Te puede parecer una exageración, pero a veces las cosas más sencillas pueden provocar cambios trascendentales. Uno nunca sabe si un diminuto suceso acabará ocasionando trastornos tremendos. Un día, Galileo tuvo una infección en un ojo. Y ese hecho cambió para siempre la historia de la ciencia moderna. Tal vez incluso podemos decir que causó que el ser humano pudiera llegar hasta la Luna bastantes años después.

Un día Jacobo, el vecino con ideas raras, notificó a Vincenzo la infección ocular de su hijo. El padre, lejos de preocuparse, se puso muy contento al saberlo. No es que el tipo fuera un padre perverso y despiadado que disfrutara con el dolor de la criatura.

Simplemente eso fue estupendo para él porque pudo alegar que en la institución religiosa el niño sufría desatención y que, por tanto, debía salir de allí cuanto antes. Y así fue. Como puedes ver, el padre del muchacho era un estratega en toda regla.

Una vez fuera, Galileo ingresó, gracias a las gestiones paternas, en la Universidad de Pisa, donde estudió matemáticas y medicina. Vincenzo estaba convencido de que el estudio de la ciencia desviaría a su hijo de sus inclinaciones religiosas.

Vincenzo tuvo éxito en su tarea. Galileo empezó a interesarse por las matemáticas y le fue desapareciendo poco a poco la idea de dedicar su vida entera a Dios. Las clases que recibía en Pisa le provocaron asombro por todos los descubrimientos que realizaron los antiguos griegos y decidió que él había venido a este mundo para ayudar a entenderlo. Ésa era su tarea y de ahí nadie lo iba a mover. Cada día aumentaban sus conocimientos y, con ellos, su curiosidad. Eso es algo que siempre sucede, porque la curiosidad, en contra de lo que suele pensarse, no se sacia jamás, sino que crece alegremente con aquello que parece aliviarla.

No creas que el joven Galileo dedicaba todo su tiempo al estudio. Le gustaban bastante la juerga y el vino. Y, por encima de eso, las chicas, ya fueran altas o bajas, delgadas o entradas en carnes, jóvenes o maduras, inteligentes o tontas hasta la desesperación, rubias o morenas, de pechos pequeños o descomunales, ricas o pobres, educadas o ignorantes, limpias o sucias. Todas. Si le costaba seducir a una (cosa que no ocurría habitualmente), no tenía ningún problema en cruzar una acera y buscarse otra a la que pagaba por sus servicios. Hay mujeres que se dedican a eso y él las frecuentaba bastante. Era algo que no podía evitar y que lo acompañó una buena parte de su vida. Se gastaba auténticas fortunas divirtiéndose, y en consecuencia sus deudas iban en aumento. Su madre, una señora rematadamente controladora que le marcó mucho en su relación con las mujeres, le censuraba a gritos su comportamiento cada vez que se enteraba de que alguno de sus deudores iba persiguiéndolo por la ciudad, amenazando incluso con matarlo. Galileo le decía a su madre que estuviera tranquila, que en cuanto reuniera algo de dinero saldaría la deuda, que sería la última vez, pero lo cierto es que cualquier entrada de efectivo era empleada en nuevas diversiones.

Todo eso no le impidió convertirse en uno de los científicos más brillantes y prolíficos de la historia. No quiero que saques conclusiones erróneas. Si Galileo llegó a ser *El gran Galileo*, no fue debido a sus excesos y descontroles, sino muy probablemente a pesar de ellos. Existe la falsa idea de que el genio ha de ser un tipo impulsivo y manirroto, pero se trata tan sólo de un concepto romántico que tiene que ver muy poco con la realidad.

Este descontrol de nuestro talentoso amigo duró hasta que cumplió aproximadamente cuarenta años y conoció a una chica llamada Marina, de la que se enamoró intensamente. Marina no fue nunca del agrado de la madre de Galileo. En cierta ocasión, la mujer fue a visitar a su hijo y se encontró la casa hecha un desastre, con toda la cocina sucia y su nuera en una actitud perezosa. En aquella época, las mujeres tenían la obligación moral de ocuparse de las tareas del hogar, y las que no se dedicaban a ello en cuerpo y alma estaban muy mal vistas. Además, si te soy sincero, la muchacha no era precisamente un cándido tesoro repleto de decencia. Su pasado estaba lleno de oscuridades. Tal vez, Galileo la conoció en alguna taberna, y es muy

posible que incluso llegara a pagar por estar con ella las primeras veces. En cualquier caso, Marina consiguió que nuestro protagonista sentara un poco la cabeza y dejara de gastarse en las tabernas el poco dinero que ganaba. Nunca antes se había enamorado. Descubrió las leyes de la física mucho antes que el amor. Aunque lo lamentemos por él, para nosotros ha resultado ser algo magnífico.

Ulises, más adelante te contaré varias de las cosas fabulosas que hizo este hombre, pero ahora sólo quiero que te centres en dos de ellas.

La primera tiene que ver con la luz.

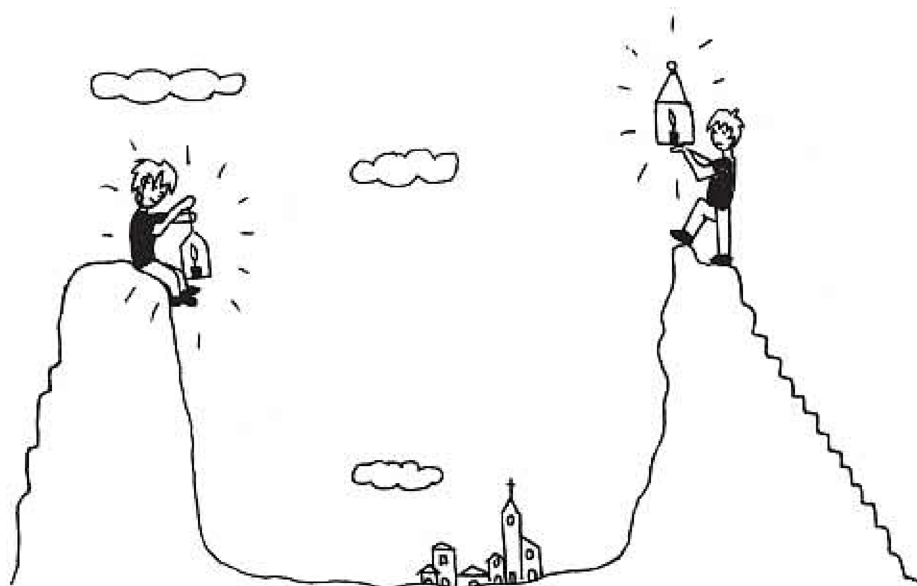
¿Qué es, exactamente? Esta pregunta se la formuló Galileo en muchísimas ocasiones. Averiguar su naturaleza, saber qué era, le resultaba muy complicado. Era una sustancia misteriosa de verdad. Iba de aquí para allá, y aunque chocaba con las cosas, nunca hacía ruido, no pesaba pero su presencia era abrumadora. Los instrumentos de los que disponía eran todavía muy imperfectos para analizarla, y él era perfectamente consciente de ello, pero al menos podía intentar averiguar algo acerca de ella: la velocidad a la que se desplazaba.

La luz de una vela, por ejemplo, ha de iniciar un viaje desde la llama hasta el ojo de quien la mira. Y sólo cuando llega allí podemos verla. Parece lógico.

Galileo sabía que el sonido se mueve a cierta velocidad. Cuando tú das una palmada, el ruido que generan tus dos manos al chocar viaja por el aire, recorriendo 360 metros cada segundo. Este dato no es difícil de averiguar. Basta con saber la distancia que existe entre el lugar donde se genera un ruido y el sitio donde es escuchado. Dividimos esa distancia entre el tiempo transcurrido y obtenemos la velocidad del sonido.

Nuestro amigo pensó que la misma técnica podía aplicarse para calcular la velocidad de la luz. Esa idea fue mal vista por muchos de sus contemporáneos, que pensaban que ésta viaja a una velocidad infinita. La luz, creían, era instantánea. Entre su emisión y su recepción no transcurría tiempo alguno. Pero Galileo estaba convencido de que eso no podía ser y que esa velocidad era limitada y calculable.

En cierta ocasión, esperó a que se hiciera de noche, cogió un candil y se subió a un cerro. Hasta ese momento, miles de hombres y mujeres habían hecho lo mismo, pero ahora esa idéntica acción se realizaba para un fin completamente nuevo. A varios cientos de metros de él, subido en otra colina, un colaborador de Galileo tenía otro candil.



La idea era simple, pero muy inteligente. Ambos candiles podían ser tapados y destapados, consiguiendo el efecto que ahora logramos encendiendo y apagando una linterna. Cuando Galileo destapaba el suyo, su ayudante debía hacer lo mismo. De esta manera, sabiendo el tiempo que tardaba en ver la luz que le llegaba del otro extremo, y conociendo la distancia entre el cerro y la colina, podría calcularse la velocidad de la luz.

Se trataba de un experimento extraordinario, pero desafortunadamente no funcionó como él pensaba. La velocidad parecía instantánea y ya hemos visto que eso es algo que él no estaba dispuesto a admitir. Tal vez, pensó, se debía a que él y su ayudante estaban muy cerca y la luz era demasiado rápida, así que buscó dos colinas más alejadas y repitió el experimento.

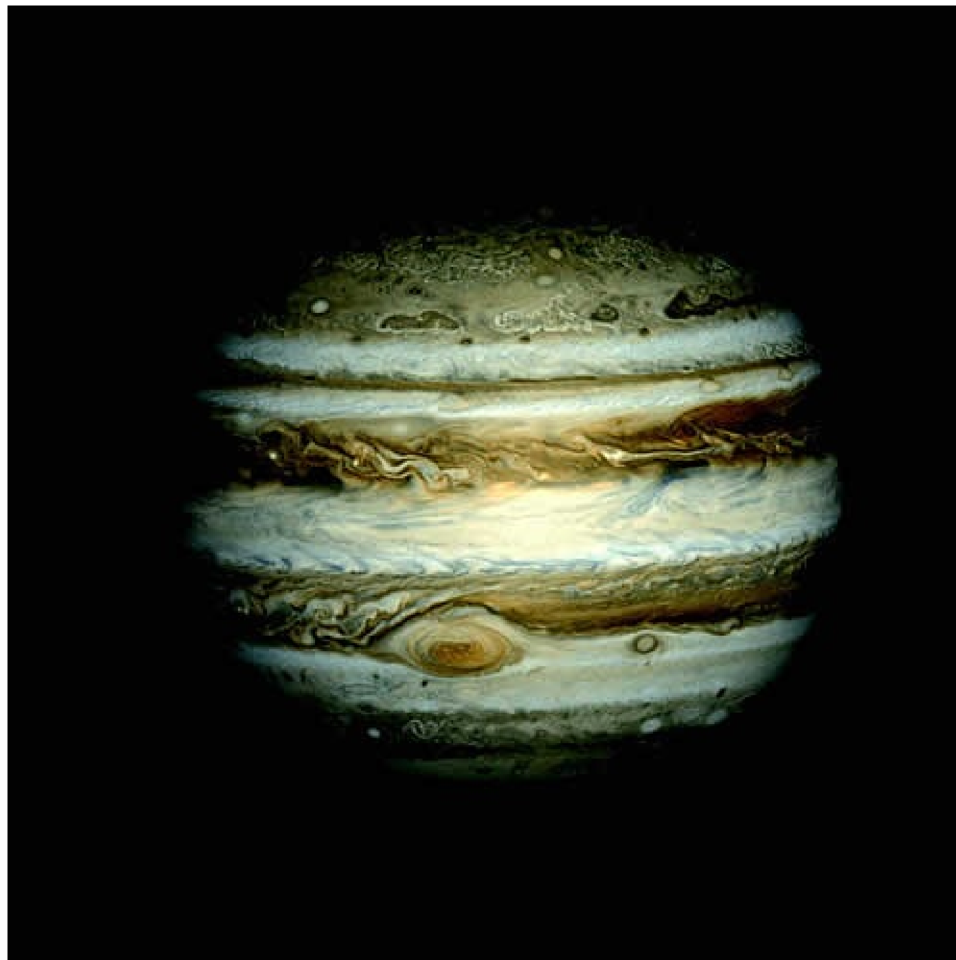
Pero el resultado fue el mismo. La luz parecía llegar de manera inmediata. Antes de abandonarlo todo y reconocer su fracaso, fue alejando cada vez más la distancia entre los dos candiles hasta casi no poder distinguir la luz que emitían, pero ni siquiera así era posible contar el tiempo transcurrido. La luz, concluyó, debía de desplazarse a una velocidad tremenda.

Muchos pensaron que Galileo había fracasado por completo, que su hipótesis de que la luz se desplaza a alguna velocidad, fuera cual fuese, era rotundamente falsa. Pero él defendió su teoría hasta el final.

Jamás pudo realizar esa medición, pero, sin saberlo, otro de sus descubrimientos ayudó años más tarde a que pudiera hacerse el cálculo con una precisión extraordinaria. Ésa es otra de las magníficas cualidades de la ciencia: un hallazgo lleva irremediablemente a otro, en una sucesión que parece no tener un final. Y el descubrimiento que causaría que, más adelante, pudiera medirse la velocidad de la luz, por descomunal que ésta fuera, tiene que ver con un planeta gigantesco.

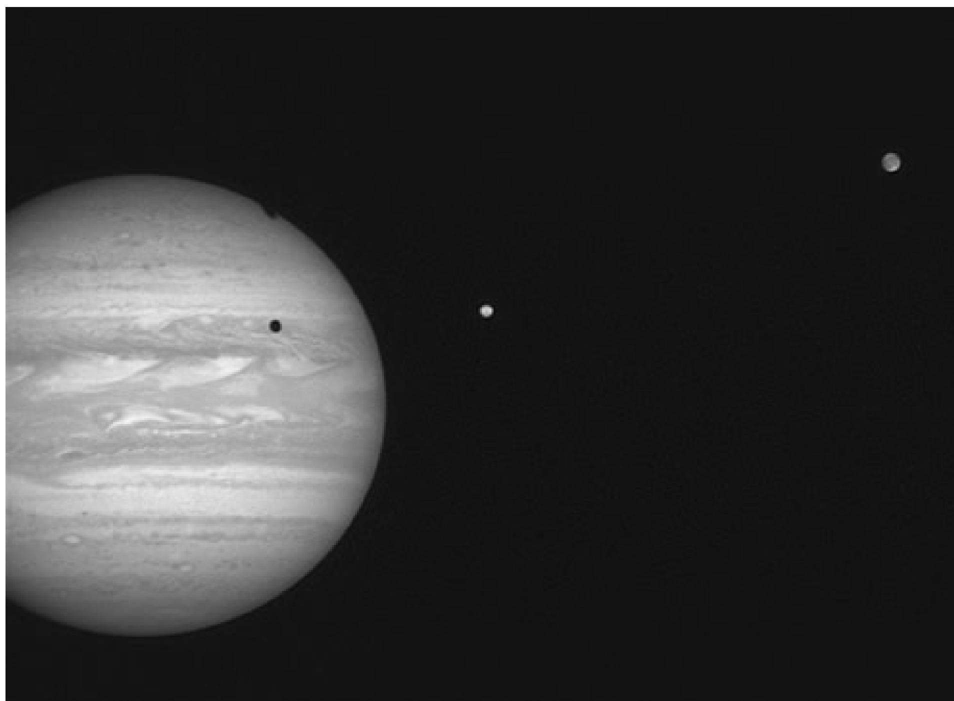
Júpiter

Siempre que pensamos en Galileo nos lo imaginamos junto a un antiguo telescopio. Es una imagen bastante recurrente, porque tiene mucho de cierta. A Galileo le encantaba mirar el cielo por las noches con ese invento reciente que había llegado de Holanda y que él había perfeccionado.



Cuando el aparato llegó a manos de nuestro amigo, se utilizaba más como un instrumento de feria que como una herramienta científica. Fue él quien le dio la utilidad que hoy tiene. Resulta extraño pensar que, antes de Galileo, tan sólo se usara para espiar a los vecinos y que nadie hubiera tenido la idea de enfocarlo hacia la Luna. Pero la verdad es que el mundo está lleno de personas muy poco curiosas.

El día 7 de enero de 1610, el sabio italiano apuntó su telescopio al planeta Júpiter y lo que vio lo dejó perplejo. Comprobó que, de vez en cuando, pasaban delante del planeta unos puntos luminosos. ¿Qué podría ser aquello? Lo cruzaban, volvían a esconderse y tiempo después aparecían de nuevo.



Júpiter y dos de sus doce satélites.

Galileo pensó que aquello podrían ser lunas de Júpiter. Igual que nuestra Luna gira alrededor de la Tierra, era probable que en torno a Júpiter giraran otros cuerpos. Como sin duda estarás pensando, Ulises, se trata de otra generalización, y además perfectamente correcta.

Júpiter tiene satélites que giran a su alrededor. Hoy sabemos que son doce. Una docena de magníficas lunas que dan vueltas sin cesar en torno a ese planeta gigante hecho de gas. Galileo descubrió cuatro, una tercera parte de las que existen.

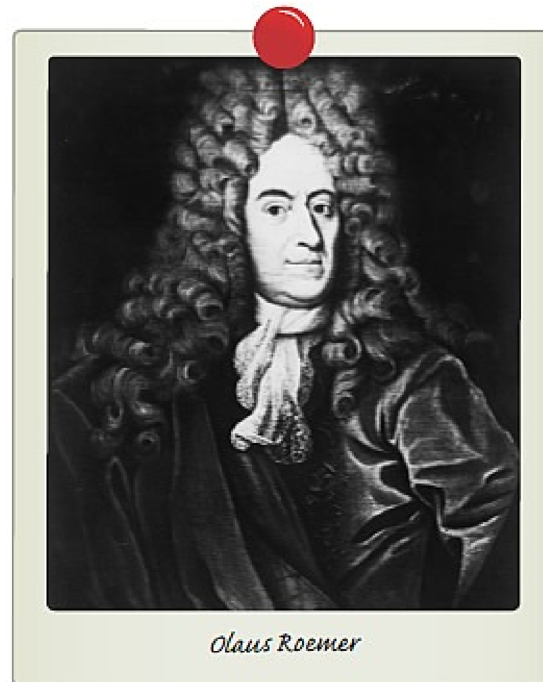
Curiosamente fue una de esas cuatro lunas la que provocó que otro hombre extraordinario, años después, pudiera cumplir el sueño de Galileo y medir la velocidad de la luz.

Un astrónomo desconocido

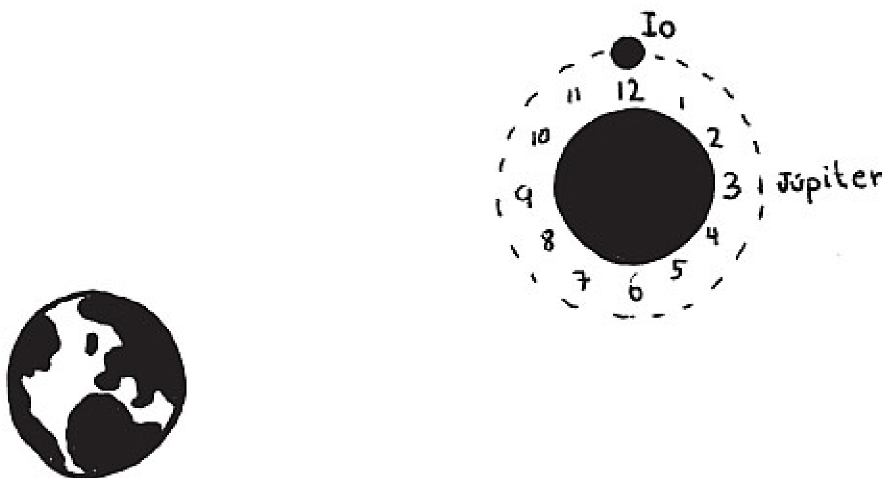
Se trata de uno de esos inquietantes rebotes de la historia. Io, una de las lunas de Júpiter que había descubierto Galileo de manera accidental, marcaría la pauta para realizar uno de los cálculos más significativos en la historia de la astronomía.

Me abstendré en esta ocasión de hacer ningún tipo de comentario sobre la belleza o fealdad de nuestro amigo. Repetir por tercera vez una broma puede resultar fatigoso. Lo cierto es que me cuesta formarme un juicio acerca de ello. Por tanto, pasaremos a hablar de él sin entretenernos en frivolidades.

En el colegio no nos hablan de este hombre, pero lo que logró tuvo una importancia fundamental. Se llamaba Olaus Roemer y nació en Dinamarca en el otoño de 1644. Estaba fascinado por Io, ese satélite que Galileo había descubierto con su telescopio.



Olaus sabía que esta luna gira alrededor de Júpiter una vez cada 42 horas. Eso le hizo pensar que, tal vez, podría construirse una especie de reloj cósmico. Los relojes que había en su época no eran del todo fiables. Atrasaban y adelantaban, pero los satélites debían tener el mejor de los mecanismos. Esas 42 horas podrían servir a la humanidad para tener una referencia precisa del paso del tiempo. Los satélites, que él supiera, no se adelantaban ni atrasaban nunca.



Así que se dispuso a calcular con precisión el tiempo que le llevaba al satélite girar sobre su órbita. La cifra de 42 horas estaba bien, pero, si realmente quería convertirlo en un reloj universal, debía hacer el cálculo con una minuciosidad extrema.

Se puso a ello y obtuvo una cifra. Volvió a comprobarla para asegurarse y el resultado resultó ser mayor. Algo debía de haber hecho mal. Volvió a medir para cerciorarse y sacó otro resultado distinto, mayor todavía.

Aquello era una locura. Cada vez que medía el tiempo que tardaba esa extraña luna en girar alrededor de Júpiter, obtenía una cantidad de tiempo más grande.

Comprobó los aparatos. Estaban bien. Volvió a apuntar el telescopio y otra vez el resultado era distinto, y aún mayor.

No lograba entender qué estaba pasando. ¿El satélite se ralentizaba? ¿Estaba frenándose? ¿Qué diablos ocurría? El pobre Olaus se entristeció. Su idea de crear un reloj universal parecía algo irrealizable.

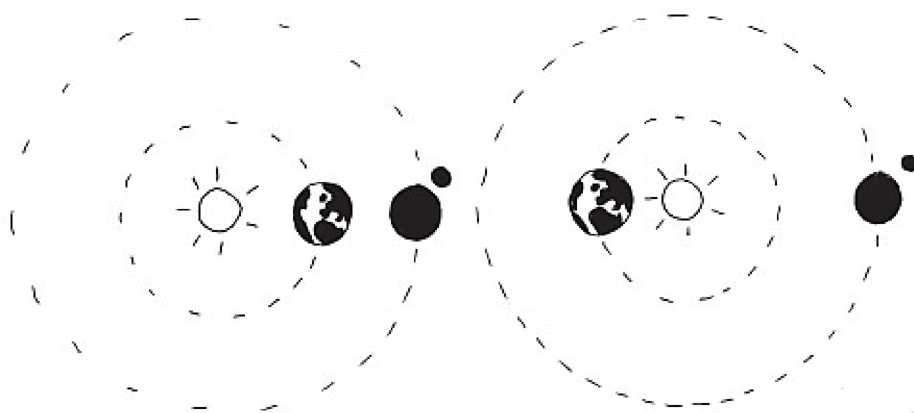
Y fue entonces cuando las cosas se complicaron todavía más.

Al cabo de un tiempo, el asombrado astrónomo decidió reanudar su tarea de medición. Lleno de extrañeza, comprobó que ahora el tiempo de rotación que obtenía era cada vez menor. Si antes el satélite se estaba frenando, ahora parecía que estuviera acelerándose.

Me imagino al pobre hombre con la mirada perdida pensando que o él o el universo se habían vuelto locos. Lo lógico sería que los astros se comportaran siempre de la misma manera. La Luna, la nuestra, siempre se mueve igual. ¿Por qué la de Júpiter no lo hacía, por qué a veces iba rápida y otras se movía despacio?

A punto estaba de abandonarlo todo cuando tuvo una de esas ideas brillantes que suelen darse sólo de tanto en tanto. Lleno de entusiasmo, dijo: «Ni hablar, Io gira invariablemente a la misma velocidad. Tarda siempre lo mismo en completar una vuelta alrededor de Júpiter. Lo que pasa es que la velocidad de la luz nos está jugando una mala pasada.»

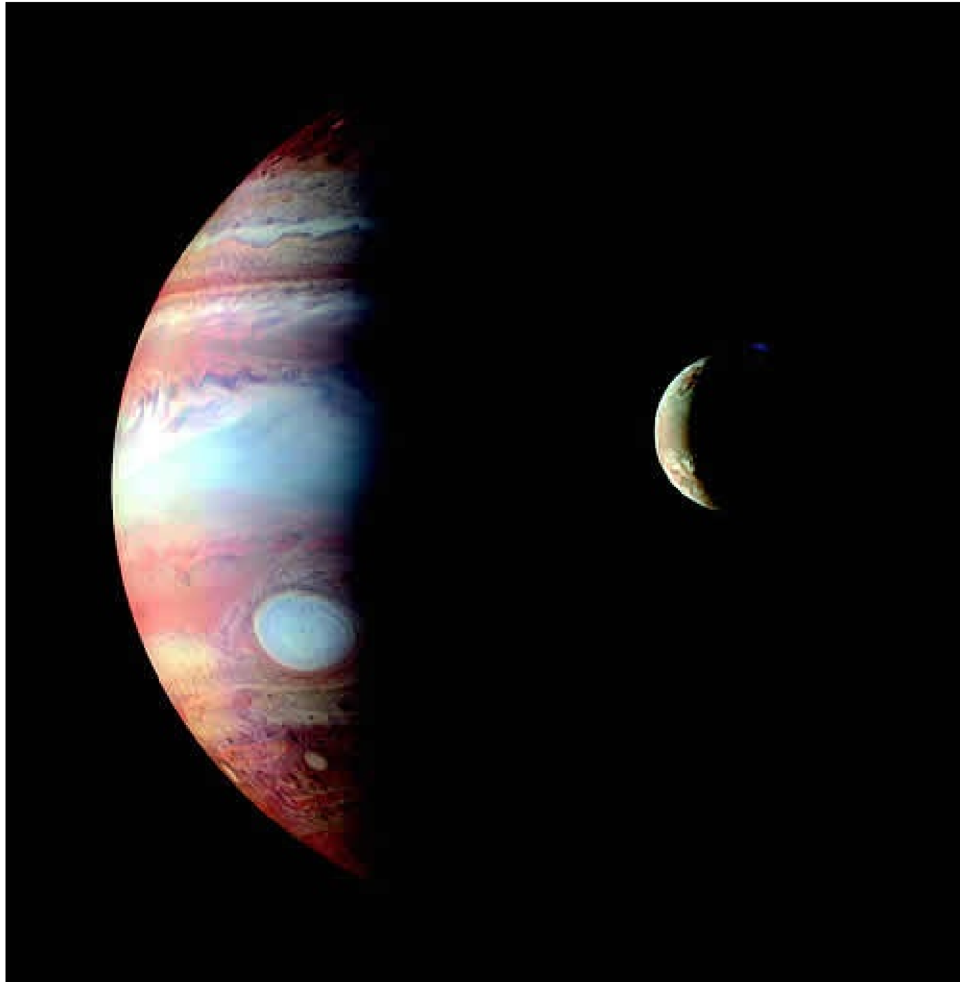
Probablemente no has entendido en absoluto la frase de Olaus. No te preocupes. En seguida sabrás exactamente lo que quería decir. Mira los dibujos siguientes.



Si te fijas, en la parte izquierda de la página, la Tierra y Júpiter se encuentran cerca. Sin embargo, en la derecha, están más alejados. Esto resulta fácil de entender. Nuestro planeta, al girar alrededor del Sol, va cambiando su posición. Por tanto, la distancia que nos separa de Júpiter no es siempre la misma.

La luz que nos llega de Io, esa luz que nos hace verlo a través del telescopio, tarda menos en llegarnos cuando la Tierra está cerca y más cuando nuestro planeta está lejos. Hasta aquí todo claro. Sigamos.

La Tierra se va moviendo. Durante un tiempo nos vamos alejando de Júpiter y la luz, por tanto, tarda cada vez más en llegar. Por eso, todo lo que ocurre allí se ralentiza, siendo ésa la causa por la que Io parece ir más despacio. Luego, cuando nuestro planeta va acercándose, ocurre todo lo contrario: la rotación del satélite parece acelerarse, porque cada vez estamos más cerca de él y la luz, en consecuencia, tarda menos en alcanzarnos.



Io, la preciosa luna de Júpiter que nos regaló la velocidad de la luz.

Olaus se puso realmente contento cuando supo que el universo no estaba loco, que seguía manteniendo su regularidad y que esa luna no cambiaba su período orbital cuando le daba la gana.

Lo más maravilloso de todo, no obstante, no fue darse cuenta de eso, sino el hecho de que gracias a esa observación pudo medir con precisión la velocidad de la luz. Sólo era necesario saber el tamaño de la órbita de la Tierra, dato que ya se conocía en aquella época. Esa cantidad de kilómetros representa la diferencia entre las

distancias a las que Io se encuentra de nosotros. Después, con los datos de los diferentes tiempos que Io tardaba en girar y empleando una sencilla fórmula matemática, pudo calcular la velocidad de la luz con un grado de error muy pequeño.

Hoy sabemos que la luz se mueve a 300.000 kilómetros por segundo.

Ahora entenderás por qué Galileo no pudo averiguar jamás esa velocidad. Ingenuamente, el sabio italiano pensaba que el tiempo que tardaba el rayo de su candil en recorrer dos cerros podría ser medido, pero a 300.000 kilómetros por segundo la luz recorre millones de cerros en el tiempo que se tarda en parpadear.

Con lo que acabas de aprender ahora estás preparado para llevarte una gran sorpresa.

Volver a las estrellas

Ulises, lo último que te dije antes de iniciar este recorrido por Italia y Dinamarca fue que Bessel, gracias al paralaje, supo que una estrella, la número 61 de la constelación del Cisne, estaba a más de diez años luz.

Fue en ese momento cuando te pedí que me acompañaras hasta Pisa. Con lo que has aprendido ya puedo decirte que un año luz es la distancia que recorre la luz en un año. Diez años luz, por tanto, es la distancia que recorre la luz en diez años.

Si en un segundo, como acabamos de ver gracias a nuestro amigo Olaus, la luz recorre 300.000 kilómetros, podemos calcular fácilmente, con una simple multiplicación, que en un año recorre nada menos que 9.460.800.000.000 kilómetros.

Casi diez millones de millones de kilómetros.

Por tanto, diez años luz, la distancia aproximada a la estrella 61 de la constelación del Cisne, serían cien millones de millones de kilómetros.

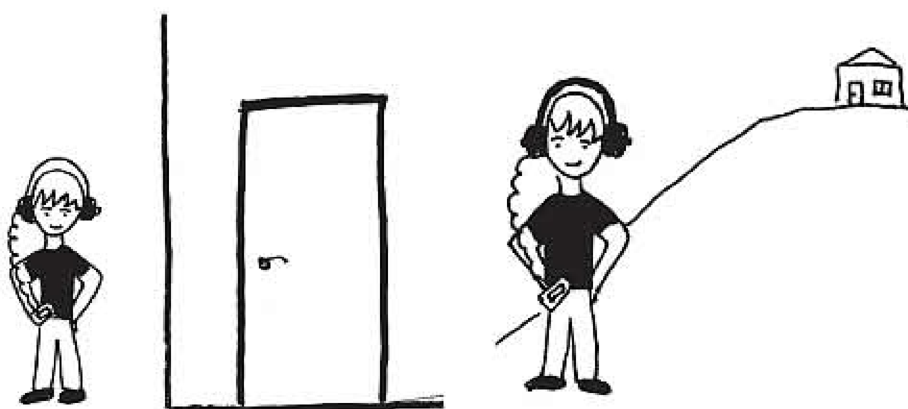
¿Te das cuenta? Cien millones de millones de kilómetros nos separan de una estrella. Otras están más cerca, pero la mayoría, como luego se comprobó, están asombrosamente más lejos.

Esta cifra tiene dos sorpresas. Una, la inicial, tiene que ver con su inmensidad. Impresiona que esté tan lejos. Pero la sorpresa mayor es que, como consecuencia de la obtención de este dato, gracias al trabajo de Bessel y Roemer, sabemos hoy lo que son las estrellas.

¿Y qué son, pues?

La respuesta llega por sí sola si prestas atención a dos hechos. El primero tiene que ver con algo tan evidente que pensarás que me he vuelto tonto por escribírtelo: las cosas lejanas se ven pequeñas y, cuando se acercan, se ven grandes.

La casa del segundo dibujo se ve pequeña porque está lejos. Resulta ser algo de una obviedad tremenda, pero esta reflexión infantil generó un descubrimiento que causó un impacto enorme a todos los científicos del mundo.



La pregunta es: ¿qué tamaño ha de tener una estrella para que la veamos como un puntito si se encuentra a cien millones de millones de kilómetros?

La respuesta a este interrogante es de las más emocionantes de la historia de la astronomía. El tamaño que ha de tener una estrella para que, pese a la inmensa distancia que nos separa de ella, podamos verla como un puntito es, aproximadamente, el tamaño de nuestro Sol.

¿No has notado un ligero escalofrío? Las estrellas tienen el tamaño de nuestro Sol. Y también brillan. Dos objetos del mismo tamaño y que brillan. ¿No es demasiada coincidencia? ¿No será que las estrellas, todas las estrellas que vemos por la noche, absolutamente todas ellas, son soles? ¿Será eso?

Pues sí. Eso es. Las estrellas son soles lejanos. O, dicho de otro modo, nuestro Sol es una estrella que tenemos muy cerca.

Y lo más asombroso de todo es que, si has leído con atención todo lo que he escrito, sabes además por qué. Mucha gente sabe que las estrellas son soles, pero tú, gracias a conocer el trabajo de Bessel, de Galileo y de Olaus Roemer, tienes una ventaja importante sobre todos ellos. Conoces paso a paso la historia de este hallazgo. Has seguido la investigación de cerca y, por tanto, has podido sentir la misma emoción que sus descubridores.

Aunque sepamos que las estrellas son soles, seguimos sin saber qué narices son. Es como si en un diccionario buscáramos la palabra *Sol* y la definición que encontráramos fuera: «Estrella cercana.» Y al mirar *Estrella* encontráramos: «Sol lejano.» Diríamos, con razón: «Muy bien, diccionario, perfecto, pero ¿qué son, por qué brillan?» Te lo contaré, pero antes has de aprender unas cuantas cosas más.

Sin embargo, no te puedes quejar; saber que las estrellas son soles lejanos ha convertido el universo en algo infinitamente más interesante.

Sigamos aprendiendo más cosas sobre él.

Las galaxias

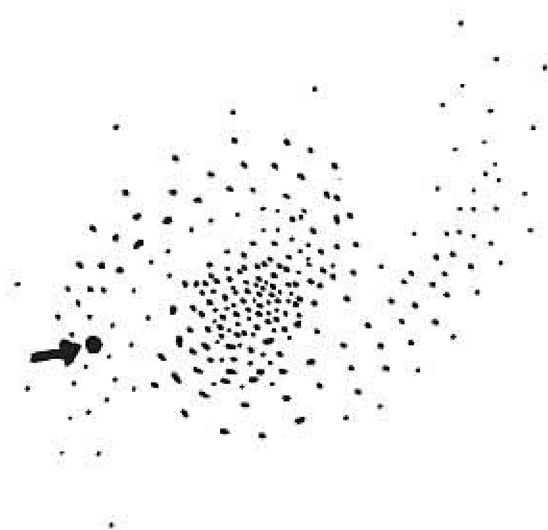
Estamos a punto de dar un paso más. Fuera del sistema solar las cosas se vuelven tremendamente enormes. Nos encontramos con estructuras gigantes que se conocen con el nombre de *galaxias*, pero sería bueno que ahora hiciéramos un pequeño repaso a todo lo que hemos aprendido.

La Tierra, cuya forma esférica y tamaño conocemos gracias al genial Eratóstenes, gira alrededor del Sol como consecuencia de las mismas leyes físicas que provocan que la piedra que lanzaste unas páginas atrás continúe orbitando alrededor de nuestro planeta. Generalizando nuestro descubrimiento, hemos visto que los planetas hacen lo propio alrededor del Sol obedeciendo esos mismos principios, y que el Sol, inmenso para nosotros, no es más que una estrella entre las muchísimas que vemos por la noche.

La luz, ahora lo sabes gracias al trabajo de Roemer, se desplaza a una velocidad de 300.000 kilómetros por segundo, y aunque corra tan rápido tarda más de diez años en efectuar el trayecto que nos separa de la estrella 61 de la constelación del Cisne.

¿Te das cuenta? Llevamos ya bastantes páginas y todo lo que has aprendido puede resumirse en tan sólo dos párrafos. Podría habértelo dicho así desde el principio, como una ráfaga, ahorrándote bastante tiempo de lectura, pero te habrías perdido la inmensa aventura de saber cómo llegaron a averiguarse todas esas cosas. Lo importante a veces no es el *qué*, sino el *cómo*. Mi interés, Ulises, no es que conozcas simplemente unos datos y te los creas sin rechistar, aceptando mi palabra como si fuera la ley. Lo que pretendo es que conozcas la razón por la cual los científicos están aceptablemente seguros de lo que afirman.

Y esta filosofía es la que vamos a continuar defendiendo en las siguientes páginas.



El dibujo que aparece aquí representa la galaxia de la Vía Láctea. *Galaxia* es el nombre que se le da a un conjunto de estrellas que giran alrededor de un centro gigantesco. El punto que está señalado con una flecha es nuestro Sol. Las estrellas no

están juntas. Se hallan separadas por distancias inmensas. Gracias a nuestro amigo Olaus sabes ahora que cien millones de millones de kilómetros (unos diez años luz) son una distancia normal y corriente entre dos estrellas.

La galaxia de la Vía Láctea es la siguiente estructura importante después del sistema solar. Nuestro inmenso Sol, acompañado por unos doscientos mil millones de soles más, gira en torno a esa masa asombrosamente grande, y tarda unos doscientos cincuenta millones de años en dar una vuelta completa. El diámetro de la galaxia (cinco centímetros en este dibujo) es de aproximadamente cien mil años luz.

La forma real no puede ser apreciada a simple vista. Si miras el cielo en una noche despejada no verás esa espiral que yo te he dibujado, sino algo sustancialmente distinto. Observa esta foto.



Si te fijas, parece un camino que conduce al cielo. Su color es blanco debido a la luz lejana de tantas estrellas acumuladas. Podemos ponernos poéticos y a ese camino blanco llamarlo *Camino de Leche*, o *Vía de Leche*. O, directamente, *Vía Láctea*.

Los antiguos, cuando miraron el cielo nocturno y se encontraron ese sendero blanquecino, empezaron a especular acerca de lo que podría ser. Tal vez una carretera que conducía a la misma morada de Dios, o una especie de calle cósmica por la que podían circular criaturas cargadas de poder. La explicación más desconcertante es aquella en la que se afirma que esa mancha cósmica no es otra cosa que la leche de la diosa Hera. Por fortuna, otros hombres sospecharon que esas hipótesis no tenían demasiado fundamento, y decidieron averiguar qué era con espíritu científico.

El descubrimiento de que nuestro Sol es una estrella más que gira alrededor del núcleo de la Vía Láctea acompañado por otras provocó de pronto un profundo interés, porque en cierto modo era como otra revolución copernicana. Primero nos dijeron que la Tierra no era el centro del universo. Ahora nos aseguran que el Sol tampoco lo es.

Pero ¿cómo se llegó a esa conclusión? ¿De qué manera los científicos fueron descubriéndolo? Para saberlo, debemos escuchar de nuevo a un griego antiguo. Tal vez el más inteligente y fascinante de todos.

Demócrito

A mí me parece guapo, pero tal vez es por el cariño y la admiración que le tengo. Demócrito nació en Abdera, una ciudad en la costa norte de Grecia, en el año 460 antes de Cristo. Tenía sentido del humor y era curioso, dos cualidades que suelen ir unidas en la mayoría de las ocasiones. Viajó muchísimo y aprendió haciéndolo. Conoció a Sócrates, el gran filósofo, pero, como dijo irónicamente un contemporáneo de ambos, «Sócrates no lo conoció a él». Fue un tipo bastante raro, y de él se cuentan siempre muchas anécdotas sobre su vida, la mayor parte rotundamente falsas. Por ejemplo, se afirma que, en cierta ocasión, mientras se hallaba meditando tranquilamente en su precioso jardín, se arrancó los ojos con las manos para que su mirada no lo distrajera y pudiese así concentrarse mejor en sus profundos pensamientos. Por suerte, eso jamás ocurrió.


Demócrito

Lo que sí sucedió es que un filósofo importantísimo le tenía mucha manía. Nada menos que Platón, el pensador que, junto a su discípulo Aristóteles, ha pasado a la historia de Occidente como el símbolo del pensamiento más elevado y fino. Detestaba a Demócrito. No lo podía soportar. En cierto modo es comprensible, porque representaba todo lo contrario a él. De hecho, la falsa anécdota de los ojos arrancados para no ver el enturbiador mundo real hubiera resultado más creíble si se le hubiera atribuido a Platón. Él sí despreciaba la realidad, a la que consideraba sucia e imperfecta. En cualquier caso, como te digo, el hombre no aguantaba a Demócrito y hasta quiso quemar todos sus libros, cosa que afortunadamente no llegó a suceder nunca gracias a la oportuna intervención de algunos filósofos a los que les quedaba un poco de sentido común. El modo que tuvieron esos tipos de convencer al filósofo fue muy ingenioso. Le dijeron que no hacía falta quemarlos porque, por desgracia, ya habían sido leídos por muchísima gente y el mal ya estaba hecho. Esa inteligente mentira hizo que a Platón se le quitaran las ganas de realizar una acción que no iba a servir ya para nada. Aun así, no ha llegado hasta nuestros días todo lo que el genio escribió y sólo conservamos algunos fragmentos.

Demócrito disfrutó de un buen maestro, Leucipo de Mileto, uno de los más inteligentes a los que podía acceder en aquella época. Tuvo mucha suerte de ser su alumno, pero Demócrito siempre daba un paso más, y perfeccionó las ideas de su mentor, dándoles su propia personalidad.



Abdera en la actualidad. Quién sabe si aquí vive el nuevo Demócrito.

Leucipo, por ejemplo, le regaló a su alumno la pista fundamental para esbozar con precisión una de las hipótesis más fascinantes que generó el pensamiento de su época: aquella que postula la existencia de los átomos, unas partículas diminutas que componen la materia, y que no fue demostrada hasta más de dos mil años después. El alumno convirtió esa pista, algo poética y nebulosa, en una teoría científica de una coherencia y belleza fuera de lo común.

En cierto modo, Demócrito se parece muchísimo a un científico moderno. Tal vez, de todos los sabios que existieron en la antigua Grecia, él sea quien más cosas en común tenga con los investigadores actuales. Comparte con ellos la esencia de su método y, sobre todo, su afán por simplificar las cosas, por eliminar lo anecdótico y centrarse en lo esencial. La simplificación, como la generalización de la que tantísimo te he hablado, es una cualidad elemental en todas las teorías científicas. Es como si, de un modo misterioso, lo complicado y farragoso no pudiera ser cierto, como si la verdad acerca de las cosas se manifestara siempre de un modo sencillo y elegante.

Un día, nuestro héroe observó el cielo estrellado y vio, como antes tantos otros, ese camino lechoso que parece recorrer el cielo nocturno. Su joven mentalidad científica le hizo desconfiar de las viejas explicaciones míticas y poéticas y decidió poner en funcionamiento su potente cerebro. Pensó que lo más lógico sería que ese camino blanquecino estuviera constituido por los mismos elementos que componen el resto del firmamento. ¿Por qué iba a estar hecho de otra cosa? Las estrellas, pensó, están esparcidas por el cielo. Algunas son más brillantes que otras. De modo que era posible imaginar que algunas estuvieran tan remotamente lejos que dejaran de parecer estrellas y terminaran tomando la apariencia de diminutos puntitos, como los que forman la harina. Muchos de esos puntos harinosos juntos darían, sin duda, la impresión de ser un camino de leche, una Vía Láctea.

Si te fijas, Demócrito da aquí un ejemplo de esa simplificación de la que te he hablado. En lugar de inventar otro elemento, en vez de añadir algo nuevo (la leche de la diosa Hera), él intentó aprovechar lo que ya existía, las estrellas, dándoles una apariencia nueva gracias a la hipótesis de que están lejos y, en consecuencia, las vemos más juntas y pequeñas.

Por desgracia, nadie tomó en serio a Demócrito. La idea de que la Vía Láctea estuviera formada por la suma de muchísimas estrellas lejanas no fue aceptada por nadie. Todos prefirieron seguir admitiendo las antiguas explicaciones basadas en los mitos. Pero el tiempo pasó y alguien demostró, sin posibilidad de duda, que el antiguo griego de Abdera tenía toda la razón. ¿Sabes quién fue esa persona? Ya te lo he presentado antes, prometiéndote que volvería a aparecer aquí. Te daré una pista. Tuvo una infección en un ojo cuando era un niño.

Se trata, claro está, de nuestro Galileo Galilei, aquel muchacho que estuvo a punto de dedicar su vida a la religión y que, curiosamente, la imaginación popular ha convertido en el símbolo de la lucha contra la fe (algo que, sin duda, llenaría de orgullo a su padre Vincenzo). Con la ayuda de un simple telescopio, Galileo demostró que Demócrito estaba en lo cierto, que aquella simplificación genial era exacta. La Vía Láctea, como ya sabes, está formada por una cantidad inmensa de estrellas lejanas.

Ahora tú puedes decirme: «Muy bien, la Vía Láctea está formada por muchísimas estrellas distantes. Estupendo. Pero al principio del capítulo anterior me has mostrado un dibujo de la galaxia y no se parece en nada a esa franja lechosa que vemos por la noche cuando miramos hacia arriba, ¿por qué?»

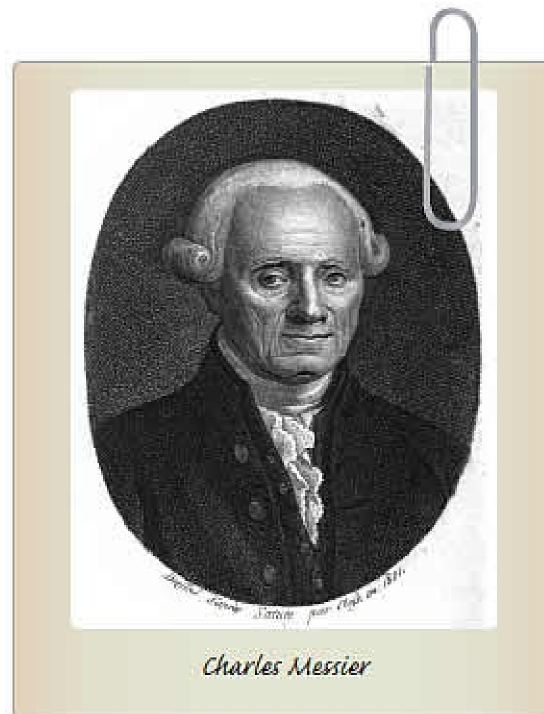
El motivo por el que no advertimos las estupendas espirales es porque desde la Tierra vemos nuestra galaxia de perfil. Divisamos un canto de la galaxia, delgado en comparación a su descomunal diámetro.

Antes te he dicho que hay más galaxias. La nuestra no es la única. Hasta ahora se han contabilizado unos 80.000 millones de ellas. ¿Te das cuenta? 80.000 millones de conjuntos de cientos de miles de millones de soles como el nuestro. ¿Cómo llegó a saberse todo esto?

Acompáñame al norte de Francia.

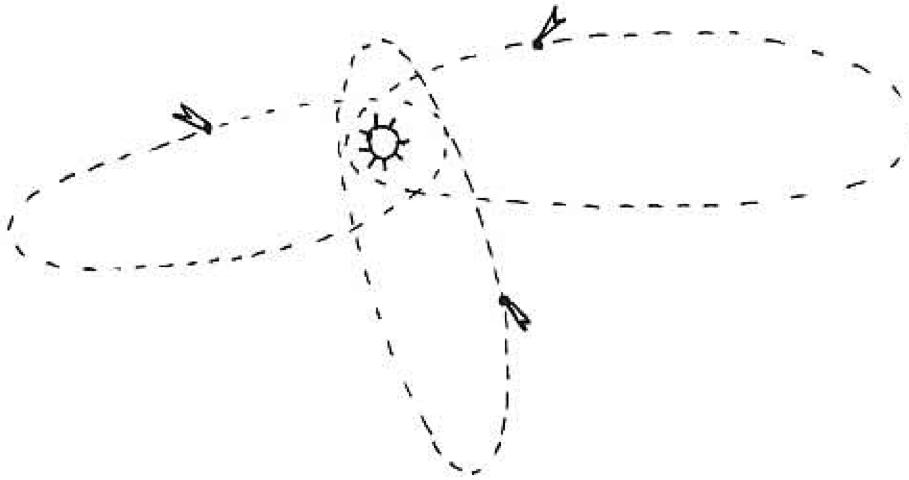
Charles Messier

Este hombre de aspecto agradable nació en junio de 1730 en un pueblecito llamado Badonviller, en la región de Lorena, en el noreste de Francia. Desde muy jovencito le interesaron los cometas. Se trata de pequeños cuerpos que orbitan alrededor del Sol y que en ocasiones pueden ser vistos desde la Tierra. Messier estaba obsesionado con ellos y decidió dedicar su vida a estudiarlos. De hecho, se le conoce con el apodo de el Cazacometas.



Charles Messier

No siempre se supo que estos cuerpos eran objetos celestes. Durante mucho tiempo, se pensó que eran simples fenómenos meteorológicos, como los rayos provocados por las tormentas. Con el tiempo, y gracias a observar minuciosamente sus movimientos, se llegó a la conclusión de que, en efecto, estos extraños cuerpos que parecen estrellas en movimiento son objetos hechos de hielo y roca que pertenecen a la familia del sistema solar.



Cometas. La primera obsesión de Messier.

Durante siglos se pensó que los cometas eran símbolos de mal augurio. Ver uno de ellos podría significar el fin de un imperio o cualquier otra desgracia inminente. Messier, como buen científico, no aceptaba ese tipo de pensamiento irracional y su estudio del fenómeno era puramente físico. Quería saber qué eran, estudiarlos y catalogarlos.

Curiosamente, su máximo descubrimiento no tuvo nada que ver con los cometas, pero fue provocado por su obsesión en cazarlos.

Cuando algo nos interesa mucho, es probable que todo lo que no tenga que ver con eso nos distraiga un poco. Si tú estás convencido de que dedicarás tu vida a estudiar cometas y observas en el cielo cosas que se le parecen mucho pero que no lo son, tal vez sería una buena idea hacer una pausa, observar esos otros objetos, saber cómo son y aprender a diferenciarlos de tu principal centro de interés. Y eso es lo que hizo Messier.

Pensó que se trataba de una excelente idea anotar y catalogar todos los cuerpos brillantes del cielo *que no fueran cometas*. De este modo, los objetos *no catalogados* tendrían más posibilidades de serlo.

Así, apuntó su telescopio al cielo y empezó a catalogar no-cometas. Te puede parecer una actividad monótona y aburrida, pero resultó ser el inicio de una serie de descubrimientos que nos ayudarían bastante a entender el universo, y eso sin duda parece algo lleno de interés. Al principio, la tarea de catalogar a la inversa le resultó realmente sencilla a nuestro amigo. Las estrellas, por ejemplo, no son cometas. Pero, poco a poco, centrando su mirada en el firmamento, empezó a descubrir cosas muy extrañas, objetos que no sabía qué demonios podrían ser.

Se trataba de entes luminosos que, por su forma, no podían ser ni estrellas ni planetas. Entonces, ¿qué eran? ¿Había en el cielo otra cosa que nadie había visto antes? A falta de otro nombre, y a causa de su aspecto algo difuminado, Messier los bautizó como *nebulosas*.

Este descubrimiento fue tan impactante para él que casi empezó a diluirse su obsesión por los cometas. Catalogaba nebulosas con auténtica pasión, esperanzado en que, antes o después, otros astrónomos pudieran llegar a averiguar qué eran.

Hoy día, esta colección de lejanos cuerpos celestes se conoce como *objetos Messier* y, antes de cada número en su catalogación, los astrónomos colocan la letra *M*, por la inicial de su apellido. M1 (la nebulosa del Cangrejo), M2, M3, [...] M31 (la galaxia de Andrómeda)... Y así hasta 110 objetos, hasta la M110.

Si quieres conocer cómo continúa esta historia, será bueno que sepas que la ciencia y el arte, en ocasiones, están íntimamente relacionados. En seguida verás lo que quiero decirte.

Un organista y una soprano

Messier no llegó a descubrir qué eran las zonas luminosas que él mismo había catalogado pasando largas noches ante su telescopio. Fueron dos hermanos músicos quienes regalarían al mundo una hipótesis genial que nos ayudó a saber lo que realmente eran esos cuerpos.

William Herschel nació en Hannover, Alemania, en el año 1738. Él y su hermana pequeña, Caroline, eran dos amantes de la música, y lo cierto es que se les daba francamente bien. Tenían cuatro hermanos más, y el padre era un músico extraordinario. Todos los días, después de comer, el hombre animaba a sus hijos para que debatieran algún tema relacionado con su pasión artística.



William soñaba con convertirse en un compositor famoso, y Caroline estaba empeñada en ser una soprano de primera línea. La chica tenía una voz preciosa, dulce y segura, y cada año que pasaba cantaba mejor.

Cuando William tenía diecinueve años, se marchó a Inglaterra. Pensó que tal vez allí podría lograr su objetivo y dedicar por completo su vida a la composición. Antes de abandonar Hannover, le prometió a su hermana pequeña que, cuando estuviera establecido allí y fuera un músico importante y famoso, volvería a buscarla y la ayudaría a triunfar por toda Europa como soprano.

William empezó a tener suerte como músico en Inglaterra. Tocaba el órgano de manera extraordinaria y daba algunos conciertos, aunque no demasiado importantes. Pero aun así podía ganarse la vida. No es que estuviera haciendo una fortuna, pero al menos tenía un salario fijo como profesor de órgano.

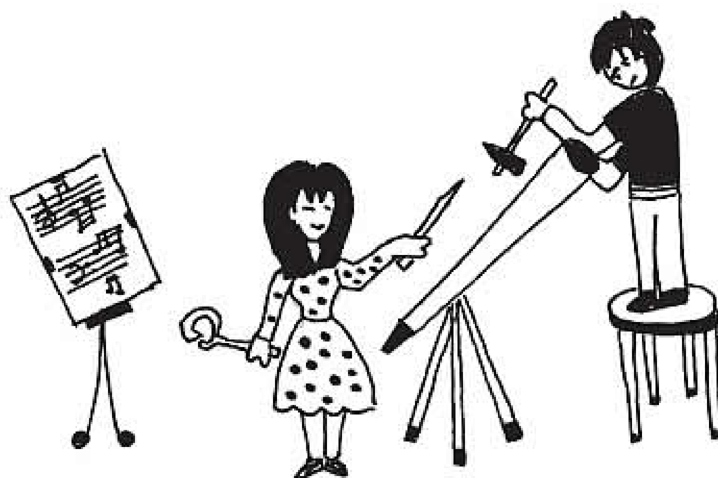
Había llegado, pues, el momento de cumplir la promesa que le hizo a Caroline. Fue a buscarla a Hannover y la llevó consigo a Inglaterra. La voz de la joven empezó a gustar. Dieron conciertos juntos; él, al órgano, y ella, como soprano, y todo el mundo los aplaudía. Dedicaban muchas horas a estudiar las partituras. Y, claro, cuando alguien pasa un montón de tiempo mirando un pentagrama, necesita alzar la vista y mirar lejos para descansar los ojos. Esa necesidad de descanso ocular, como en seguida verás, cambió la historia de la astronomía en el siglo XVIII.

Los dos hermanos, en su nueva casa inglesa, salían por las noches al jardín y miraban las estrellas. Pensaban que no había nada mejor para la retina que desenfocarla tras haber pasado horas estudiando unas diminutas manchas de tinta negra sobre el papel de un pentagrama. Mientras veían el cielo nocturno, notaron que existía cierta similitud entre la belleza de la música y esa remota y fina armonía que se manifestaba en el oscuro universo. Al principio aquello resultó ser un mero entretenimiento, pero poco a poco esos astros remotos empezaron a interesarles más

de lo que estaba previsto. Noche a noche, se iban formulando preguntas, pero no podían quedarse hasta las tantas mirando la bóveda celeste, porque al día siguiente tenían que madrugar para seguir con los ensayos musicales.

—¿Y si nos compramos un par de telescopios? —le preguntó William a Caroline.

Era una propuesta estupenda, claro que sí, pero la respuesta era obvia: no podían permitírselo. Esos aparatos resultaban demasiado caros y los ingresos de ambos, aunque les permitían vivir decentemente, no daban para tanto. ¿Qué hacer, pues? Otros hubieran abandonado la idea, conformándose con alzar la cabeza al cielo de vez en cuando para filosofar en el jardín sobre los profundos misterios de la existencia, pero estos dos hermanos eran muy especiales. Viendo que no podían comprarlos, decidieron fabricarlos ellos mismos.



Y lo hicieron. Estudiaron todo lo que había que estudiar, pulieron lentes, armaron telescopios y llegaron a construirlos de un modo magnífico. Tanto es así que en poco tiempo tuvieron, a módico precio, instrumentos de observación astronómica que resultaron ser más precisos que los que utilizaban los científicos en el importantísimo observatorio de Greenwich. Con su tesón, fueron capaces de crear un telescopio con lentes que aumentaban los objetos unas seis mil quinientas veces. Y eso, créeme, era muchísimo para la época.

Poco a poco fueron dejando de lado la música y se centraron en la observación astronómica. Una noche despejada del año 1781, William tuvo una sorpresa magnífica. Observando el cielo con el potente telescopio, divisó un objeto que nunca nadie había visto antes. Se lo comentó a Caroline y empezaron a pensar qué podría ser. Era algo ciertamente extraño. Al principio supusieron que era un cometa, pero después calcularon muy bien su movimiento y vieron que se parecía mucho al que tenían los otros planetas del sistema solar. Y si se movía como un planeta, ¿por qué no iba a ser uno de ellos? Acababan de descubrir, nada más y nada menos, que el planeta Urano.

Contentísimos por su hallazgo, lo comentaron a todo el mundo. La fama de William y Caroline llegó por fin, pero no como músicos, sino como astrónomos. Ellos mismos no podían creérselo. La vida, en ocasiones, es francamente extraña. En el fondo, sin saberlo, podemos vivir varias vidas. Aunque pensemos que nuestra existencia futura va a ser una prolongación más o menos similar a la que tenemos, lo

cierto es que, de la noche a la mañana, las cosas pueden dar un giro espectacular. El rey Jorge III nombró a William Herschel astrónomo de la corte, por ser el descubridor de un nuevo planeta, asignándole un sueldo de doscientas libras anuales, y a Caroline la obsequiaron con cincuenta libras al año, cuatro veces menos, por haber sido su inseparable ayudante. Resulta obvio que ella merecía también las doscientas libras.

Ya como astrónomos profesionales, siguieron realizando grandes descubrimientos: dos lunas, en Saturno; otras dos, en Urano, y ochocientas estrellas dobles. Las estrellas dobles son parejas de estrellas que están muy juntas y que orbitan una alrededor de la otra. Ya sabes cómo gira la Luna alrededor de la Tierra, ¿verdad? Pues imagínate que la Luna fuera igual de grande que nuestro planeta. En ese caso, no habría razón para que fuera ella la que orbitara alrededor de nosotros, y lo harían mutuamente, uno en torno al otro, como bailando hasta la eternidad una danza silenciosa. Y eso es lo que descubrieron que les pasaba a las estrellas que están muy cerca unas de otras: que bailan por los siglos de los siglos.

Sin embargo, el mayor hallazgo de estos hermanos tiene que ver con las nebulosas que catalogó Charles Messier. Nadie había conseguido dar una respuesta. William y Caroline, como muchos otros, también se preguntaron qué eran, y el hecho de tener un telescopio bastante más potente que el de Messier tal vez podría ayudarles a obtener la deseada respuesta.

Apuntaron sus telescopios al cielo y miraron. Se dejaron la vista durante muchísimas noches y lograron averiguarlo. Por fin sabían qué eran esos extraños cuerpos difuminados que Messier había catalogado llamándolos nebulosas y que nadie había podido descifrar qué eran.

Tuvieron una idea genial.

Propusieron que eran grupos de estrellas. Cientos, miles, millones, miles de millones de estrellas amontonadas. La acumulación de estrellas daría a las nebulosas un aspecto lechoso.

¿Te suena eso de algo? Aspecto lechoso. ¿Recuerdas? La Vía Láctea, nuestra galaxia, también ofrece un aspecto lechoso. Ya te dije que ésa era la razón por la que le pusieron ese nombre los antiguos. Por tanto, ¿no serían las nebulosas de Messier también galaxias como la nuestra, sólo que muchísimo más lejanas?

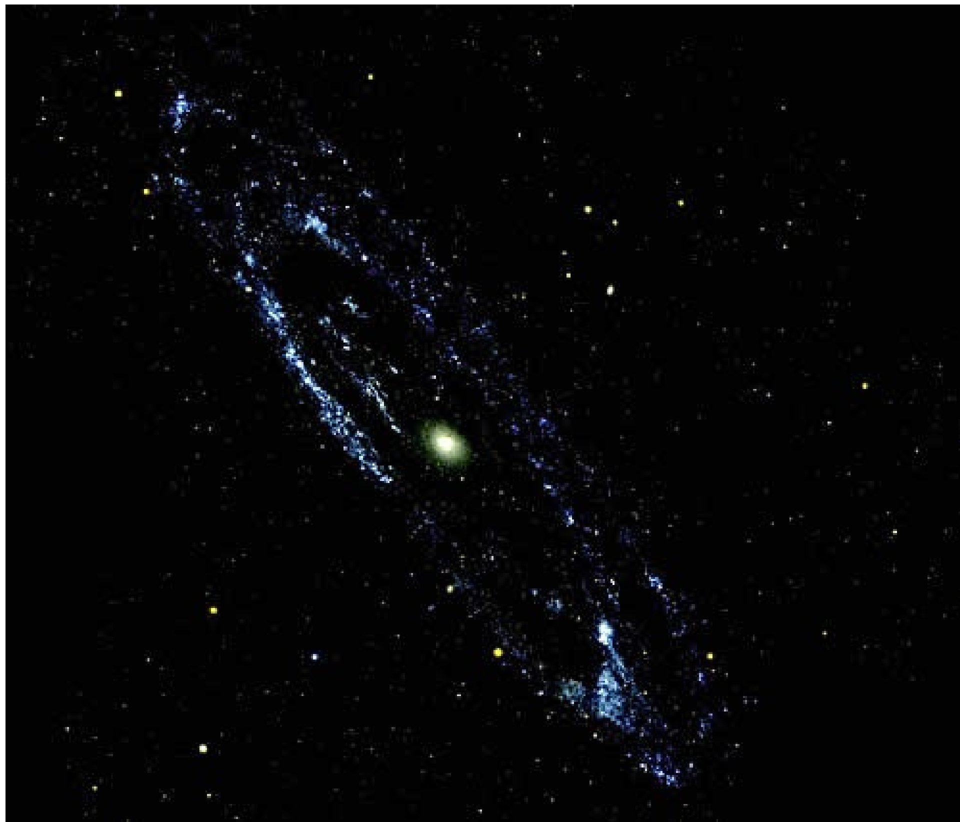
Efectivamente, así es. Pero no todas las nebulosas resultaron ser galaxias. Algunas son nubes de polvo y gas, y a ésas las continuamos llamando nebulosas. Pero muchos de los cuerpos que Messier llamó así son galaxias gigantescas y lejanas.

Aunque la propuesta de los hermanos Herschel era fundamentalmente verdadera, no pudo verse confirmada con un grado de certeza total hasta bien entrado el siglo XX, gracias a la observación con potentísimos telescopios. La ciencia funciona así. Una teoría, por extraordinaria que sea, tiene que ser sometida a prueba. Los aparatos que utilizaron William y Caroline casi aseguraban la existencia de las galaxias, pero los «casi» no convierten una teoría en científica, aunque pueden ser el paso previo para lograrlo.

Te daré otro ejemplo. El gran filósofo Immanuel Kant, antes que los Herschel, habló también de las galaxias, a las que él llamó *universos isla*. Pese a que su intuición fue correcta, Kant no puede pasar a la historia como el descubridor de las galaxias,

porque el método que utiliza la ciencia requiere de la observación metódica de la realidad para dar por buena una hipótesis. Y Kant, aunque fue un genio, nunca pudo realizar esas observaciones.

Ahora, gracias a nuestros potentes telescopios situados en el espacio, sabemos cuál es la forma exacta de esas galaxias. Mira, te voy a poner aquí la foto de la galaxia M31, también llamada Andrómeda (Messier 31, siguiendo el número de catálogo de Charles).



Andrómeda.

Nuestra Vía Láctea es una galaxia muy parecida a Andrómeda. Por las noches no la vemos con esa forma porque la divisamos de lado, con lo que nos perdemos el espectáculo espiral que podría ofrecernos. Pero eso no debe preocuparnos en absoluto. El universo está lleno de galaxias espirales, gigantes, formadas por cientos de miles de millones de estrellas. La Vía Láctea es una de ellas.

Resumamos: vivimos en la Tierra. Alrededor de ella gira la Luna. La Tierra y ella se desplazan juntas alrededor del Sol, acompañados por los otros planetas. Este conjunto de astros recibe el nombre de sistema solar. El Sol es una más entre las miles de millones de estrellas que forman nuestra galaxia de la Vía Láctea. Gracias a los hermanos Herschel y a los potentes telescopios actuales, sabemos que existen miles de millones de otras galaxias, formadas también por miles de millones de soles como el nuestro. Y las galaxias están separadas entre sí por un vacío inmenso y mareante.



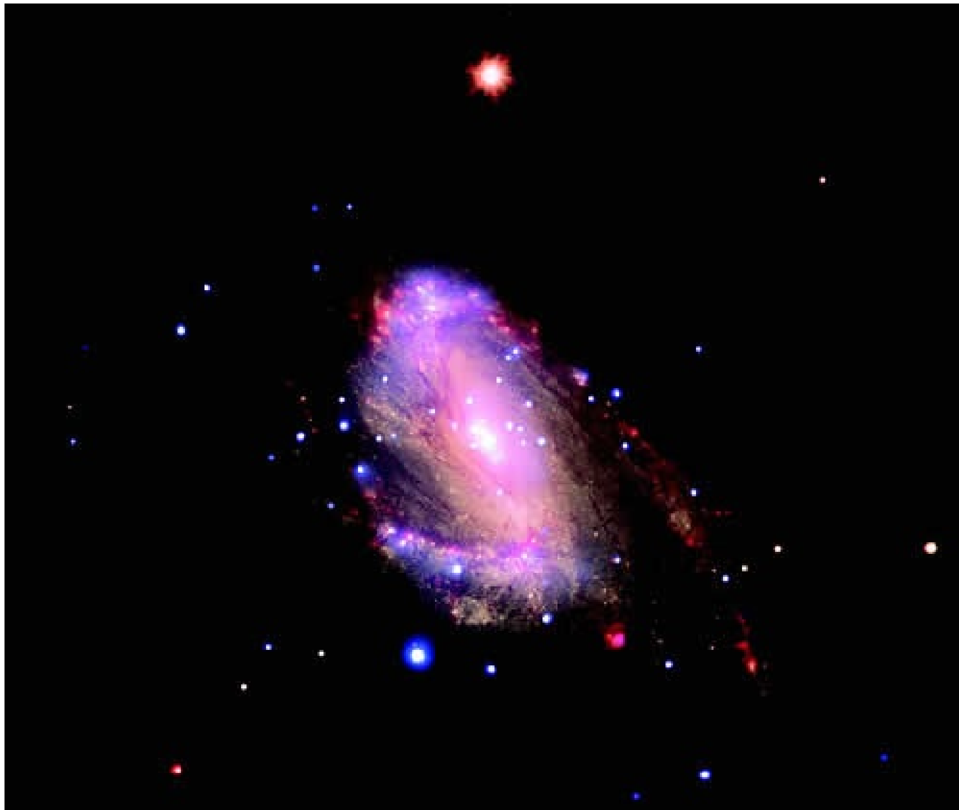
Fragmento de universo rebosante de galaxias.

El aspecto nebuloso y lechoso podría dar una idea errónea de la distancia que separa las estrellas unas de otras. Antes te he dicho que están amontonadas. Eso es así sólo si juzgamos este hecho en función de la enorme distancia a la que las observamos. Lo cierto es que están enormemente alejadas entre sí, como las estrellas en nuestra propia Vía Láctea.

Las estrellas giran alrededor del centro de las galaxias, y al hacerlo se crean esas formas espirales. Por tanto, nuestro Sol también orbita en torno al centro galáctico. Si se mueve alrededor, si orbita en torno a ese centro, sin duda debe de ser por la misma razón por la que la Luna gira alrededor de la Tierra. No creo que hayas olvidado el motivo. La fuerza que atraía a la Luna hacia nuestro suelo era la misma que le hacía no caerse, al estar de algún modo cayéndose siempre. Por tanto, en el centro de las galaxias debe de haber algo gigante, enorme, una entidad extraña que atrae los soles con muchísima fuerza y alrededor de la cual giramos siempre sin caernos nunca, como la piedra pequeña que lanzaste al aire hace ya varios capítulos. Ahora nuestro Sol y el resto de las estrellas son como esa diminuta piedra. ¿Alrededor de qué giran? ¿Hay en el centro de las galaxias algo tan grande que es al Sol lo que la piedrecita es a la Tierra? Luego te hablaré de lo que hay en ese centro, pero no queramos correr tanto. Si vamos poco a poco saborearás mejor la respuesta. De momento siéntete feliz porque has aprendido que dos hermanos que querían ser músicos descubrieron el universo tal como ahora lo conocemos.

Y ahora vamos a ocuparnos del brillo de las estrellas. Sabes ya que están por todas partes, agrupadas en galaxias enormes, pero aún no tienes ni idea de lo que son, ni por qué brillan, ni de qué están hechas, ni de si son eternas o terminarán apagándose. Ha llegado el momento de saber todo eso.





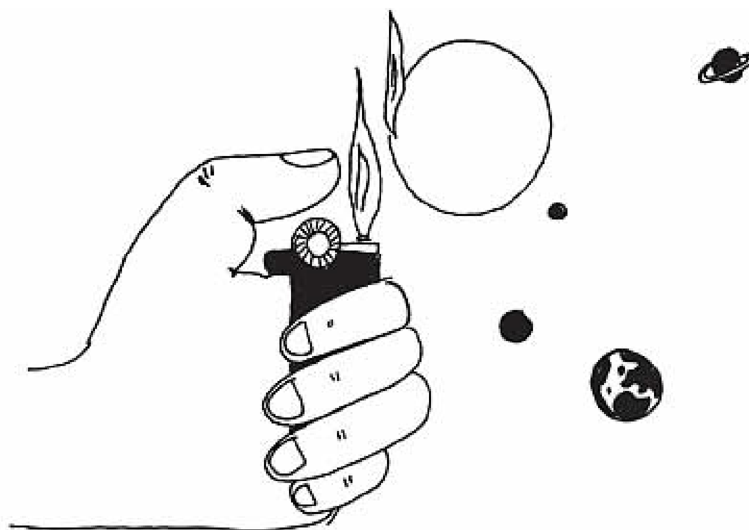
La estrella Sol

El descubrimiento de que nuestro Sol es una estrella más entre los millones de millones que pueblan el universo me ha parecido siempre algo fascinante. Cuando me enteré, tuve la necesidad de contárselo a todo el mundo, pero desgraciadamente noté que la mayoría no compartía del todo mi entusiasmo.

No podía entender cómo aquello no les hacía saltar de emoción. El Sol, esa enorme bola de fuego que nos calienta en verano y que alumbra las montañas y los tejados durante todo el año, ese astro brillante del cual depende toda la vida en nuestro planeta es, en el fondo, igual de insignificante que cualquiera de las numerosísimas lucecitas que vemos por la noche cuando miramos el cielo.

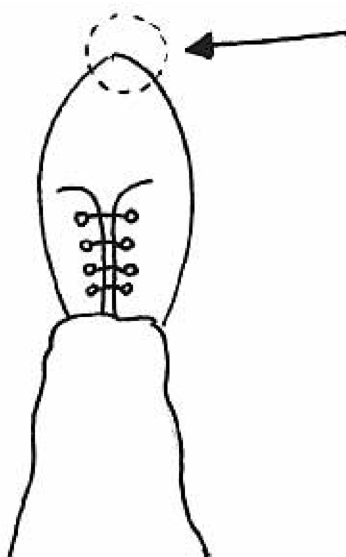
Durante muchísimo tiempo, los seres humanos se preguntaron de qué estaba formado el Sol. Es normal que se plantearan esa cuestión. Saber de qué están hechas las cosas es un deseo infantil, y el Sol es algo que tenemos tan a la vista que hubiera resultado extraño que nadie se hubiera preguntado de qué material estaba hecho. La respuesta intuitiva es que se trata de una bola de fuego, pero esa explicación tiene un serio inconveniente. El fuego suele apagarse transcurridos unos minutos. Si se enciende bien, tal vez llegue a durar algunas horas, pero nadie vio nunca una hoguera que durara años, décadas, siglos y milenios. ¿Qué tipo de fuego era ése, se preguntaban los antiguos, que parece no tener fin? ¿Quién lo ha encendido?

Preguntar quién ha encendido el Sol es algo comprensible. Las personas prenden las hogueras, ¿por qué no pensar entonces que una superpersona encendió una superhoguera con un supermechero? Pero si pensamos un poco más, obtendremos una hipótesis más razonable. En ocasiones, el fuego no lo provoca un ser humano, sino la misma naturaleza, ciega e impersonal. Un rayo en una tormenta puede provocar un incendio. Es una de las características de la naturaleza; parece ir a su rollo y no nos necesita demasiado para ir alterándolo todo. ¿Se inició así la actividad del Sol? ¿Hubo un superrayo que hizo que el material del que está constituido empezara a arder sin descanso desde hace muchísimos siglos?



Esta respuesta tiene, al menos, un aroma científico, porque no apela a entidades superiores, ni a voluntades situadas por encima de las leyes naturales, pero aun así no es en absoluto verdadera. De nuevo nos topamos con el problema del tiempo que tardan las cosas en apagarse. Si el Sol fuera un incendio gigante, ya estaría extinguido hace muchísimo tiempo. No hay material en el mundo capaz de aguantar ardiendo tantos años. Eso es algo que ya dedujeron los científicos de la antigüedad. Un Sol hecho de madera duraría poco rodeado de llamas. En seguida se consumiría.

Cuando el carbón empezó a ser utilizado para mover las locomotoras y las máquinas durante la revolución industrial, se barajó la hipótesis de que el combustible solar fuera algo similar a esa materia sucia y oscura. A pesar del fervor con el que algunos investigadores abrazaron la idea, pronto tuvo que ser rechazada. Aunque el Sol sea tan grande, tan inmenso, si estuviera hecho de algo similar al carbón, también haría ya mucho tiempo que se habría apagado. El tiempo de combustión del carbón no es excesivamente grande. La respuesta hay que buscarla en otro lugar. Nada de combustibles normales y corrientes. Debe ser otra cosa. Un supercombustible. Pero ¿cuál? La solución la hallaremos en otro lugar: no en el mundo de las cosas que vemos, sino dentro, muy dentro, en el ámbito de lo muy pequeño, de lo rematadamente minúsculo. Si quieres comprender por qué el Sol no se ha extinguido todavía, mira con atención tu zapato derecho.



Fija tu atención en la punta del zapato y olvida el resto. No existe el tacón, ni los cordones. Sólo la punta del zapato.

Ahora observa exclusivamente la mitad de esa punta.

Deja de mirar el zapato y ahora imagínatelo. Va a resultarte mucho más cómodo que estar apartando todo el rato la vista del libro para mirarte los pies. Divide ahora en dos la mitad de la punta que antes estabas viendo. Ahora divide esa otra mitad de nuevo en dos. ¿Ya está? Vuelve a dividirlo en dos. Otra vez. Otra. Una más.

¿Qué estás imaginando ahora? Creo que no me equivoco si respondo que lo que tienes en la cabeza es algo parecido a un punto pequeño y oscuro. Divídelo también en dos. Y ese medio punto, de nuevo en dos. Y otra vez. Y otra.

¿Qué estás imaginando? Un puntito superpequeñito, una parte insignificante de punta de zapato. ¿De qué estará hecho ese punto?

•

Quizá en este momento estés bastante despistado. Después de todo, estábamos hablando del Sol y del material del que podría estar hecho para lograr arder durante tanto tiempo. ¿Acaso el Sol está hecho de puntitos de zapato? Por supuesto que no, pero ese trocito minúsculo que has terminado imaginando después de dividir con la imaginación muchas veces la punta de tu zapato resulta ser la clave para entender el misterio del Sol.

Con el fin de comprenderlo mejor, volvamos con Demócrito, aquel antiguo sabio del que te hablé hace un rato, el griego inteligentísimo que imaginó que la Vía Láctea estaba formada por muchísimas estrellas. Estar a su lado siempre resulta una magnífica compañía.

Átomos

Cuando en nuestros días oímos hablar de átomos, nos cuesta entender cómo fue posible que hace dos mil quinientos años alguien pudiera pensar en ellos. Suponemos que los átomos son algo de ahora, no de hace siglos. Nos sugieren imágenes tecnológicas de centrales nucleares y bombas gigantescas capaces de destruir ciudades enteras. Lo relacionamos con el presente, con los últimos avances tecnológicos, pero la realidad es bien distinta. *Átomo* significa, literalmente, «indivisible», y ese concepto es tan antiguo como el pensamiento.

Ya te comenté antes que Demócrito tuvo un excelente maestro llamado Leucipo; de él escuchó por primera vez la hipótesis atómica, perfeccionándola y llevándola muchísimo más lejos.

¿Qué viene a decirnos esa idea? En realidad fue producto de una intuición descomunal, y no precisó de microscopios potentes para ser propuesta. Demócrito simplemente observó que hay muchas cosas a nuestro alrededor. Vemos los árboles, las piedras, los pájaros, las nubes, el barro, el agua, los jazmines, las manos de nuestros amigos, las piernas de las chicas, los ojos, la ropa, los metales y cientos de cosas más que enriquecen la realidad. Esa generosidad de la naturaleza a la hora de mostrarnos objetos tiene una parte negativa, porque complica el asunto más allá de lo deseable. La ciencia tiene la firme costumbre de simplificar la realidad. Una explicación siempre es mejor que cinco. No se trata de una idea exclusivamente estética. En verdad todo obedece a una cierta lógica. Muchas explicaciones no son, propiamente, ninguna explicación, porque lo que deseamos es hallar una única causa. Es como cuando tú preguntas la razón de algo y, al obtener la respuesta, te empeñas en saber el porqué de esa explicación, siguiendo una cadena exasperante pero

inteligentísima para averiguar el fundamento de las cosas. Algo nos dice que, en última instancia, las causas se esconden como capas de cebolla, y cuanto más nos aproximemos al único centro, más cerca estaremos de la comprensión total.

Eso es, más o menos, lo que rondaba por la cabeza de Demócrito cuando decidió que todo lo que vemos es, en realidad, una combinación de átomos, de diminutas partículas que, especialmente organizadas, explican el mundo en su totalidad. La absoluta complejidad del universo puede ser entendida sólo en función de dos elementos: los átomos y el vacío. Pequeñas partículas irrompibles y espacio para que éstas se muevan y puedan combinarse para formarlo todo.

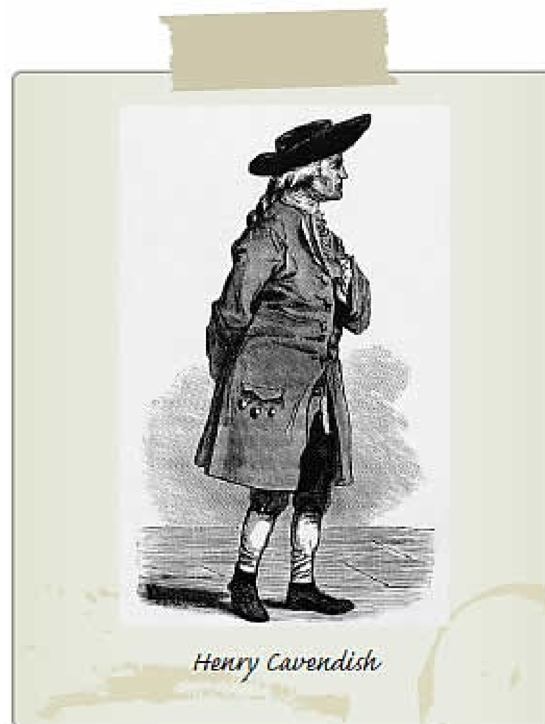
Según nuestro sabio, tú estás hecho de átomos, y sólo de ellos. Si pudiéramos ver con un potentísimo ojo el interior de la materia de la que están hechas tus manos y tus vísceras, encontraríamos pedacitos de realidad demasiado pequeños como para poder ser observados a simple vista. No hay, para él, ni alma ni soplo divino que te anime. Sólo átomos y vacío, unidos como en un gigantesco engranaje mecánico. La compleja realidad elimina a los dioses y a las entidades sobrenaturales. Sólo átomos y vacío. Es como el estribillo de la canción cósmica. Sólo átomos y vacío. La multiplicidad del mundo natural se explica por la capacidad que tienen esos átomos de combinarse entre sí para formar nuevos objetos. No hay *muchas cosas* en el universo, sino muchas combinaciones de *pocas cosas*. Se trata de una idea muy hermosa que ejemplifica estupendamente el deseo intelectual de simplificar, reduciendo la realidad al mínimo posible.

Demócrito, por desgracia, fue el último de los filósofos naturales. Ya te dije que compartió época con Sócrates, un pensador que cambió de forma radical el pensamiento filosófico, centrando la atención en el ser humano, alejándose del estudio de la materia y del universo físico hasta la llegada del Renacimiento, muchos siglos después. Pero ese paréntesis fue compensado cuando la ciencia demostró que la hipótesis intuitiva del genio griego tenía una fundada base real. En efecto, la materia está formada por átomos, y fue gracias a conocerlos a fondo cómo llegamos a comprender por qué arde el Sol.

El químico vergonzoso

Los átomos de Demócrito eran tan sólo una idea dentro de la cabeza de un genio. La búsqueda del átomo real, el que ahora conocemos, es una de las historias más inquietantes del mundo.

Te voy a presentar a un tipo interesante.



Este señor que ves aquí, el químico Henry Cavendish, fue uno de los tipos más extraños de la historia de la ciencia. Decir eso es mucho, porque la investigación científica ha generado personas bastante curiosas. Pero Henry, sin duda, se lleva el primer premio. Nació en Niza, en el año 1731. Sus padres eran unos nobles bastante adinerados, y es muy probable que algo le pasara en sus primeros años de vida, porque acabó convirtiéndose en un tímido enfermizo. Todo le daba vergüenza. No aguantaba la mirada de nadie, y tragaba saliva cada vez que se veía obligado a hablar en público. No sólo le producían terror los actos sociales; incluso le mataba el hecho de comprobar que una persona cualquiera pudiera observarlo a cierta distancia. Sufrió muchísimo y organizó su vida en torno a esa intensa timidez. Su vergüenza moldeó toda su existencia, desde que se levantaba hasta que se metía en la cama. Llegó incluso a construirse una puerta trasera secreta en su laboratorio para entrar y salir sin que nadie lo viera jamás. Antes de eso, padecía mucho al tener que atravesar un pasillo pensando que, tal vez, pudiera cruzarse inesperadamente con alguien.

Al heredar la fortuna de sus padres, llevó una vida bastante cómoda en lo material. Se decía de él que era «el más rico de los hombres cultos». En su casa disponía incluso de un ama de llaves y varias doncellas, pero nunca intercambió una sola palabra con ellas. Todo lo que tenía que decirles se lo escribía en unas notas.

Me encantaría poder leer esas anotaciones y fijarme en la letra nerviosa con la que fueron redactadas. Sin duda, podríamos leer cosas como «La cena a las ocho. Gracias». O probablemente se ahorraría el agradecimiento. Quizá lo viera como algo demasiado cercano, un gesto que podría herirlo, una muestra de contacto humano excesivo. Pero, sobre todo, me gustaría verlo a él escribiendo todo eso, escondido en su laboratorio, solo, nervioso, pensando que en breve tendría que enfrentarse a la dura misión de salir de allí para dejar la nota en algún lugar pactado, con el riesgo inconmensurable que suponía encontrarse con algún miembro del servicio que, tal vez, incluso llegara a mirarle a los ojos sin querer.

Cuando paseaba (siempre a la misma hora, porque era muy metódico), lo hacía con la cabeza agachada para no cruzarse con la mirada de nadie. Si en alguna ocasión un conocido lo saludaba, cambiaba de acera, tembloroso y sofocado, acelerando el paso para volver rápidamente a su laboratorio, el único lugar en el que se sentía de verdad seguro. Allí nadie le podía hacer daño. Entre esas paredes era un dios que dominaba el universo. Daría lo que fuera por tener una filmación de lo que pasaba ahí dentro, cómo entraba, cómo salía, cómo caminaba de un aparato a otro, de qué manera cerraba su insólita puerta secreta al entrar, quizá cerrando por un instante los ojos y respirando profundamente para descargar la tensión acumulada en la calle.

Como es natural, nunca asistió a una fiesta, ni a ninguno de esos lugares llenos de gente a los que los seres humanos tanto nos gusta acudir. Lo que para cualquier otro hubiera resultado un entretenimiento, una diversión, a él le habría costado una crisis nerviosa que lo habría obligado a permanecer en la cama varios días. ¿Cómo empezar una conversación? Eso era una tarea imposible. Para hacerlo hubiera tenido que fijar su mirada en alguien, y él no estaba dispuesto a hacer algo así. El sufrimiento que le ocasionaría no podría jamás ser compensado con ningún placer provocado por la charla. Por tanto, su dinero nunca fue empleado en tabernas ni en lugares concurridos. Su inmensa fortuna la destinaba a comprar aparatos científicos, todos los que podía, y libros, muchísimos libros. Llegó a tener una biblioteca extraordinaria y, en un acto de sociabilidad insólito en él, permitió que otras personas pudieran consultarla. Pero, con el fin de evitar encontrarse con otro ser humano, ubicó la biblioteca a varios kilómetros de su casa.

Sin embargo, toda su cobardía a la hora de relacionarse con los demás se convertía en una inusual valentía al tratar con la ciencia. Ahí era el más osado de todos. Y no te hablo sólo de una valentía intelectual, sino también puramente física. Cuando experimentaba con la electricidad, por ejemplo, y a falta de un sistema más fiable para medir la intensidad de las cargas eléctricas, ponía su mano directamente en la fuente de la corriente. O en ocasiones incluso el brazo y las piernas. Eso es algo que también me habría gustado presenciar. Solía decir que el dolor era el mejor indicador de la intensidad eléctrica.

La vida de Cavendish demuestra de manera radical que es compatible ser un tipo poco centrado en la vida diaria y al mismo tiempo tener una mente perfectamente diseñada para la paciente reflexión científica. Y nos demuestra también que el temperamento de un hombre no tiene nada que ver con su potencia intelectual. Galileo era todo lo contrario a él, ¿recuerdas, Ulises? El italiano se divertía, se emborrachaba, hablaba con todo el mundo, se gastaba el dinero en juergas, ligaba con todas las mujeres que podía y nada lo avergonzaba. Eso nos tiene que enseñar algo fundamental: debemos escapar de los tópicos que nos advierten que si quieres ser un genio te has de comportar de una determinada manera. No existen prototipos humanos. Cada uno es como es.

Cavendish no se casó, claro está. Si hablar con alguien le resultaba una tarea insoportable, imagínate tener que seducir a una chica, besarla, acostarse con ella y todas esas cosas que suelen hacer los enamorados de manera natural. Algo así lo habría matado. Su único interés era la ciencia. En concreto, las propiedades de los gases, lo que le llevó a descubrir por primera vez en la historia el misterio del agua.

Si tú fueras Aristóteles, el acto de beber un vaso de agua tendría una relevancia filosófica fundamental. Estarías tragándote una de las cuatro sustancias más importantes del cosmos. Este hombre, como ya sabes, consideraba que el mundo estaba formado por agua, tierra, fuego y aire (además de estupendo éter). No fue un pensamiento original. De hecho, recogió las ideas de pensadores anteriores. Esta teoría de los cuatro elementos provocó que se olvidara la genial intuición de Demócrito y sus átomos. Y, claro está, donde se ponga Aristóteles, que se quite todo lo demás. Si en su momento frenó el heliocentrismo, haría lo propio con el atomismo.

Cavendish, como todos los científicos de la época, tenía en mente las doctrinas de Aristóteles. Lo había leído muchísimo. Los cuatro elementos eran, por definición, indisolubles. Con agua y tierra podía hacerse barro, pero el agua no estaba hecha de nada más. El agua era agua, y punto. No se trataba de un compuesto, sino de un elemento, de un ladrillo del cosmos.

Pero nuestro tímido y extrañísimo químico descubrió algo que cambiaría para siempre la historia de la ciencia y que echó por tierra las ideas aristotélicas.

En cierta ocasión estaba haciendo experimentos con el hidrógeno, un gas que le fascinaba. Era muy ligero y tenía propiedades curiosas. Por ejemplo, era inflamable. Aquello podría haber sido solamente una distracción de circo, pero Cavendish experimentó día y noche con esa curiosa propiedad, hasta que un día descubrió, para su asombro, que el hidrógeno, al arder, producía agua. ¿Cómo era eso posible? ¿De qué manera se había creado el agua? ¿Dónde diablos estaba ese líquido antes? Posiblemente, por primera vez en su vida, se vio tentado a salir a la calle y gritar a todos que había presenciado algo raro. Me lo imagino luchando internamente entre la vergüenza y el deseo de comunicarse. Y es que, en verdad, aquel hallazgo era espectacular. Si Aristóteles tenía razón, acababa de producirse un milagro. El agua no podía surgir de otros elementos, porque *ella misma era un elemento esencial*. Pero Cavendish sabía que aquello no era un milagro. Por tanto, si se había generado agua cuando el hidrógeno ardía, resultaba evidente que el agua no era un elemento indisoluble. Se formaba a partir de otros. Pasaba de no existir a existir. Era creada.

Aristóteles, por tanto, no tenía razón. El agua era un compuesto, algo formado por más de un elemento. Hidrógeno y algo más. Hoy sabemos que el agua está formada de hidrógeno y de oxígeno.



Cavendish investigó otros muchísimos gases y dejó claro para siempre que el mundo está formado por elementos, muchísimos de ellos, más que los cuatro que suponían Aristóteles y los otros griegos. Además, nos regaló una idea magnífica: combinando esos elementos podemos formarlo todo. Esto nos acerca a los átomos cada vez más. Definitivamente, parecía que todas las cosas que existían estaban formadas por otras aún más simples. Si el agua está formada por hidrógeno y oxígeno, ¿qué nos impide pensar que el hidrógeno y el oxígeno, a su vez, están constituidos por algo todavía más simple?

Nuestro tímido científico murió en el invierno de 1810. Empezó a encontrarse mal mientras daba un paseo. Pudo llegar hasta su laboratorio, pero no llamó al médico. Le habría dado corte tener que hablar con él. Imagínate el rubor que hubiera sentido si de repente el doctor le hubiera tenido que inspeccionar el pecho, pidiéndole que se desabrochara la camisa. Murió solo, como siempre vivió. Tiempo después, sus familiares donaron parte de su fortuna a la ciencia, con la que se crearon los laboratorios Cavendish, que por fortuna todavía siguen funcionando y en los que se lleva a cabo investigación científica de primera línea.

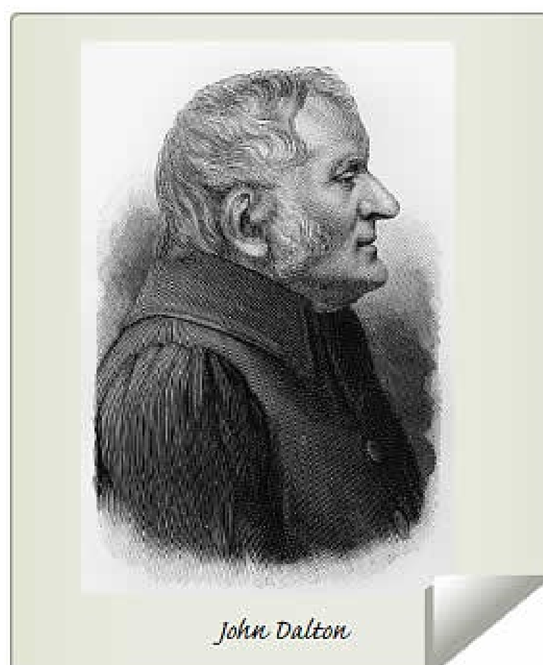


Laboratorios Cavendish, Reino Unido.

Cavendish no se comunicó con nadie en su vida. Sólo miraba de frente a los ojos de la ciencia, si me permites la metáfora algo cursi. Gracias a eso, a nosotros logró decirnos muchas cosas sin necesidad de incomodarlo con nuestra presencia. Nos regaló un trabajo que acabaría dándole la razón a Demócrito. Faltaba muy poco para que eso ocurriera.

John Dalton

La sucesión de hechos que van desde la primera formulación atómica en Grecia hasta su confirmación simboliza a la perfección el método científico. Quiero que conozcas ahora a un hombre que manejaba esa herramienta de una manera extremadamente brillante.



John Dalton, este señor que aparece aquí retratado, nació en el Reino Unido, en otoño de 1766. Fue un tipo curioso, sentimental y solitario. Su afán por estar en soledad fue totalmente distinto al de Cavendish. En el caso de Dalton se trataba de un deseo sosegado, positivo, casi podríamos decir que alegre. Amaba la soledad sin necesidad de temer a los hombres. Ésa es, sin duda, una manera mejor de enfrentarse al mundo. No tener miedo a estar solo puede traernos alegrías enormes. En el fondo, tanto da si nos gusta la multitud o si nos incomoda. Lo bueno es poder elegir sin que el miedo nos obligue a ello. En este sentido, John fue más feliz que Henry. Jamás vivió con una mujer, lo que en ocasiones puede resultar sumamente ventajoso. Tenía unas curiosas creencias religiosas heredadas de sus padres. Era cuáquero. El cuaquerismo es un sistema de creencias que fusiona el cristianismo con ciertas ideas de carácter progresista, un batiburrillo místico-social más o menos bienintencionado que ha atraído a algunas grandes personalidades a lo largo de la historia. Por suerte, sus ideas religiosas no interfirieron en su manera de enfrentarse al universo.

John fue un niño bastante inteligente. Esto es una obviedad, pensarás. Todos los hombres que hicieron algo importante en la vida fueron inteligentes cuando eran chavales, pero si te lo señalo expresamente es porque su inteligencia infantil tuvo resultados prácticos. Con sólo nueve años daba clases a otros niños del colegio, lo que le ayudó a llevar dinero a casa. Eso encantaba a sus padres, que no iban lo que se dice desahogados económicamente. Luego creció y fue interesándose cada vez más por la ciencia, en concreto por la química y las matemáticas.

Es una pena que no dispongamos de ninguna imagen suya de cuando era un niño. Tal vez conservara de adulto la mirada que tenía de pequeño. Eso es algo bastante común en tipos inteligentes. Es posible. Vamos a fijarnos en ese ojo que vemos de perfil. Nada hace suponer que tuviera problemas para distinguir los colores, pero lo cierto es que eso es precisamente lo que le pasaba. Se trata de algo que ahora se conoce con el nombre de *daltonismo*, como es obvio, en su honor. Cuando miraba la

hierba que crecía en los campos de Eaglesfield, la pequeña localidad donde nació, no la veía verde como tú. Pero eso no le impidió enamorarse también de aquel paisaje y de la inmensamente rica naturaleza, tuviera ésta el color que tuviese, y se esforzó durante toda su vida por conocer a fondo sus leyes.

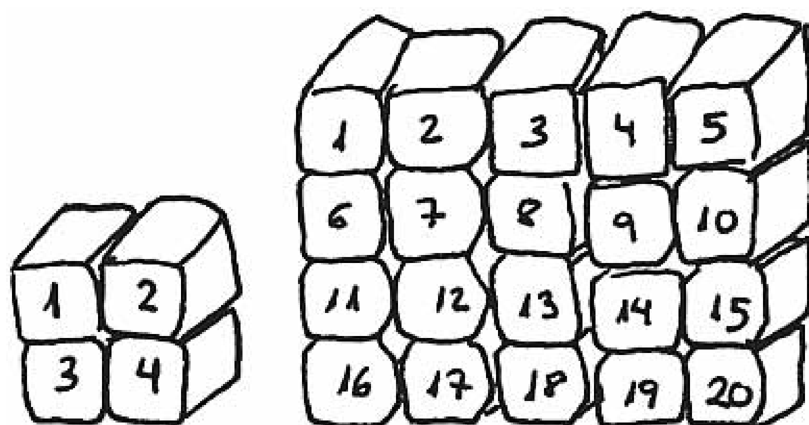
Dalton es popularmente conocido por haber lanzado una hipótesis acerca de las causas de su ligero trastorno en la visión, pero no ha pasado a la historia de la ciencia sólo por este hecho. Su mayor aportación, con diferencia, fue continuar, siglos después, el trabajo de Demócrito de Abdera.

Números enteros

Los números han dado grandes alegrías a la ciencia. En ocasiones, la simple observación de las matemáticas a nivel muy básico ha provocado que se descubrieran cosas asombrosas. Las matemáticas ofrecen pistas que resultarían invisibles sin ellas. Son como un guía mudo, prudente y metódico, que nos va señalando el camino cuando estamos perdidos. No causan estruendos, no gritan. Simplemente apuntan en una dirección a los que saben interpretarla. Eso es lo que pasó cuando Dalton estaba investigando las reacciones químicas.

El descubrimiento del tímido Cavendish tuvo un gran impacto. El hecho de saber que el agua, por ejemplo, no era un elemento puro, sino que estaba formado por sustancias más simples, captó la atención de todos los científicos, y Dalton no pudo dejar de verse influido por ello.

Además, él sabía, gracias al trabajo de un contemporáneo suyo llamado Jeremias Benjamin Richter, que, cuando mezclamos sustancias químicas distintas (como el caso del hidrógeno y el oxígeno), sólo se produce la reacción que conduce al nuevo compuesto (en este caso, el agua) cuando la proporción entre una y otra sustancia, antes de juntarlas, puede expresarse mediante un número entero. Los números enteros son los que no tienen decimales: el uno, el dos, el tres, el cuatro, etc. No te asustes. Sé que te he soltado una parrafada espeluznantemente confusa, pero era necesario hacerlo. En seguida te voy a explicar qué quiere decir que la proporción entre dos sustancias que reaccionan químicamente ha de ser siempre un número entero. Mira este dibujo.



Imagina que ambos dibujos, el de la derecha y el de la izquierda, son dos sustancias químicas cualesquiera. Lo que Richter nos dijo es que si dividimos el número de cuadraditos de la sustancia mayor por el número de cuadraditos de la sustancia menor, siempre nos dará un número sin decimales. Da igual el número, pero siempre será entero. En el caso del ejemplo, veinte dividido entre cuatro nos da cinco.

Este hecho, que Dalton conocía perfectamente, podría no haberlo emocionado, pero nuestro hombre era un científico de primera línea, y estos tipos suelen quedarse siempre boquiabiertos cuando la naturaleza ofrece fenómenos tan bonitos y redondos como el que había demostrado Richter. Existe una idea rara de fondo, difícilmente expresable en palabras, que viene a decir que lo elegante tiene más probabilidades de ser verdadero. Y la existencia de esos números enteros, por su pulcritud y pureza, era indiscutiblemente un hecho de gran elegancia. Así que nuestro protagonista empezó a pensar en cuál podría ser la causa de este fenómeno.

Vamos a imaginar que nos ponemos en la mente de Dalton y que le oímos reflexionar del siguiente modo:

> En la naturaleza hay muchas sustancias químicas. Están por todas partes. Cavendish ya ha descubierto unas cuantas, aunque no muchas. Yo espero descubrir algunas más. Siempre que dos de ellas reaccionan para generar un nuevo compuesto, la proporción es la misma. Por ejemplo, cuatro gramos de una sustancia y veinte de otra. Si me siento generoso y quiero emplear el doble de una sustancia, tendré que poner también el doble de la otra, porque de lo contario no hay reacción. Y si pongo cien veces más en una de ellas porque tengo el día espléndido, por cien habré de multiplicar también la cantidad de la otra. El caso es que la proporción se mantenga exacta. ¿Qué explicación puede tener esta cosa tan rara?

Dalton tuvo, sin duda, un pensamiento similar a éste. ¿Por qué la naturaleza era tan metódica, por qué la realidad amaba tanto los números sin decimales? ¿Qué se escondía tras esos enteros? Dicho de otro modo, ¿por qué la existencia se empeñaba en comportarse de un modo tan descaradamente hermoso? Si queremos crear agua, por ejemplo, necesitamos una cantidad de oxígeno, sea cual fuere, y el doble de hidrógeno. Si deseamos poner cinco veces más cantidad de oxígeno, también tendremos que

poner cinco veces más cantidad de hidrógeno. Lo importante es que la división entre la cantidad de hidrógeno y la cantidad de oxígeno siempre dé como resultado el número dos.

Esto provocó que Dalton pasara varias noches sin dormir. ¿De dónde salían esos números enteros? Daba vueltas en la cama, solo, pensando con los ojos abiertos pese a estar a oscuras, levantándose para beber agua y preguntándose cuál era el secreto de ese líquido al que la costumbre había provocado que nosotros dejáramos de percibir su profundo misterio. Hasta que un día, inesperadamente, tuvo la gran idea.

Entusiasmado, pensó que la explicación era que todos los elementos químicos estaban hechos de partículas indivisibles, de pequeñas bolitas irrompibles de ese elemento en concreto. Tal vez Demócrito, a fin de cuentas, tuviera razón, por mucho que eso hubiera fastidiado a Platón.

Me lo imagino guiñando un ojo al pasado, a su lejano colega griego, sintiéndose unido a él a través de los siglos. Tuvo que pasar mucho tiempo. El peso de Aristóteles había sido tan grande que incluso había aplastado a los mismos átomos, impidiéndoles salir, pero por fin alguien empezaba a darle la razón a Demócrito.

Dalton no sólo aceptó la existencia de los átomos, sino que además supuso que eran esféricos, duros e irrompibles. ¿Por qué esféricos? Sin duda porque es una forma bonita. La Tierra es esférica; la Luna, también. ¿Por qué los átomos no iban a serlo? Además, si tuvieran otra forma, tendríamos el incómodo problema de las esquinas. Un átomo de forma cúbica, por ejemplo, resulta muy feo intuitivamente. No es una imagen muy creíble. Lo esférico, sin duda, se acerca más a la imagen ideal.

Dalton también nos dijo que todos los átomos de un determinado elemento son iguales entre sí. Todos los átomos de oxígeno son idénticos. Si has visto uno, los has visto todos. Pero cada elemento tiene su propio átomo característico. Y es la combinación de esas pequeñas unidades, en proporciones exactas, lo que genera la extraordinaria riqueza del mundo natural.

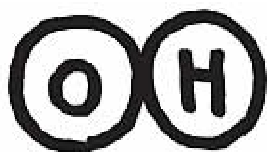
La idea de los átomos explicaba muy bien el asunto de los misteriosos números enteros. ¡Claro que siempre salían números enteros, puesto que en la base, en el fondo, había partículas indivisibles! No puede haber medio átomo de hidrógeno y ésa es la razón de la inexistencia de los decimales.

Dalton, como vemos, fue el Demócrito del siglo XVIII.

H_2O

La única fórmula química que conoce todo el mundo es, sin duda, la del agua: H_2O. Significa que la menor cantidad posible de agua está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. El número 2, en la fórmula, siempre se pone a la derecha del elemento. Dalton estuvo a punto de ser el primer ser humano en la historia en deducirla, pero se equivocó. Fue sólo un error de cálculo, bastante comprensible

teniendo en cuenta los instrumentos de medición poco precisos de los que disponía. Pensó que un solo átomo de hidrógeno unido a otro átomo de oxígeno era la combinación exacta para crearla.



Agua, según Dalton.

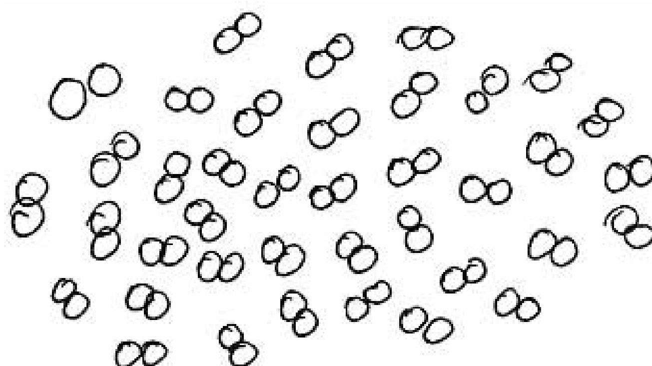
Ésa era, siguiendo la hipótesis de Dalton, la cantidad más diminuta de agua que podría crearse. El error, insisto, no tiene importancia. Fue simplemente uno entre cientos de aciertos geniales. Lo importante es que imaginó átomos de distintos elementos combinándose entre sí para crear nuevos compuestos. Y, además, en la mayoría de los casos, dio con el resultado exacto.

Si Dalton hubiera dispuesto de material científico más potente, habría observado que, para crear agua, necesitamos dos veces más cantidad de hidrógeno que de oxígeno. Podemos imaginar un átomo de oxígeno unido a dos de hidrógeno.



Agua real.

Si queremos más agua, tendremos que aumentar el número de átomos de hidrógeno y el número de átomos de oxígeno, pero siempre en la proporción dos a uno. De esta manera, cada átomo de oxígeno se uniría a dos átomos de hidrógeno para crear más agua. Y así, multiplicando por dos, podríamos crear un océano.



Así sería un océano para Dalton.

Sea cual fuere la cantidad de agua, siempre habrá el doble de átomos de hidrógeno que de átomos de oxígeno. Éste es el método simple y genial de Dalton para explicar las extrañas y perfectas proporciones de Richter. Los átomos eran la respuesta. Demócrito estaba en lo cierto. La diferencia entre Dalton y el antiguo habitante de Abdera es que nuestro daltónico llegó a esa conclusión experimentando, cosa que, para su desgracia, no pudo hacer nuestro genio griego.

Pero ¿qué son los átomos?

Por suerte, los seres humanos no nos conformamos con respuestas aparentes. Si fuera así, la ciencia habría muerto a los pocos minutos de nacer. La primera respuesta ya nos valdría y desaparecerían esas incontenibles ganas de continuar preguntando. Pero somos cabezotas y siempre queremos dar unos pasos más. El hecho de saber que existen átomos de hidrógeno, de oxígeno y de cualquier otro elemento, no colma nuestra curiosidad. Todo no ha hecho más que empezar. Queda pendiente la pregunta fundamental: saber qué diablos son esas cosas tan pequeñas y por qué se unen entre sí. ¿Tienen acaso ganchos o un pegamento cósmico extrañísimo? ¿Por qué no pueden dividirse? ¿De qué están hechos? ¿De qué color son? ¿Qué tamaño tienen? ¿Se podrían ver con una lupa gigante? Todo parece realmente confuso y tuvo que pasar algún tiempo antes de poder responder a estas preguntas.

Átomos por dentro

Te recuerdo, Ulises, que estamos tratando de responder a la pregunta de por qué el Sol está ardiendo. Para ello, hemos tenido que regresar hasta la antigua Grecia y luego dar un salto de dos mil años para encontrarnos con Dalton. No creas que estos vaivenes en el tiempo y en el espacio son caóticos. En realidad, demuestran lo magnífica que es la ciencia, lo asombrosamente interconectada que está. Para responder a cualquier pregunta, tenemos que ir dando brincos temporales, hacia delante y hacia atrás, porque los fundamentos de cualquier respuesta fueron esbozados a trazos y en períodos distintos de nuestra historia.

Dalton volvió a lanzar al mundo aquella idea incipiente que surgió en la mente de Demócrito y Leucipo, pero le dio una forma científica y experimental. Desde ese momento, la teoría atómica tenía que ser tomada en serio.

Quedó claro que todo lo que nos rodea es una mezcla de elementos más simples. Tú, el aire, los animales, los metales, el material del que está hecha una mesa, una nube, el hierro de los columpios de cualquier parque, el mismo parque, los volantes de

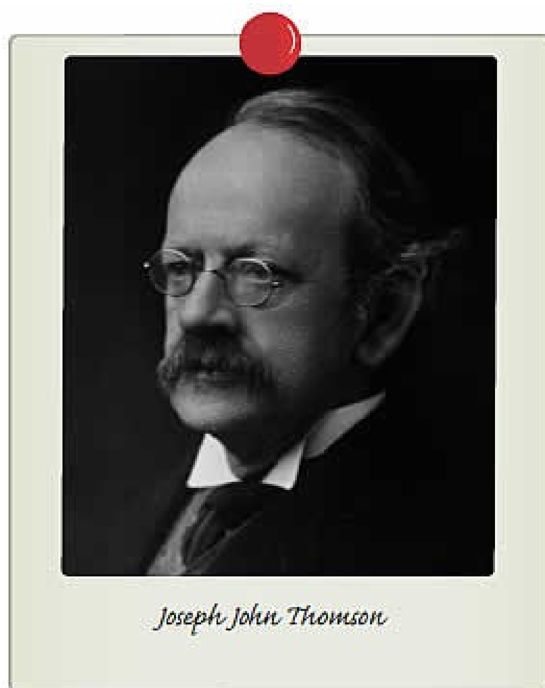
los coches, el agua, la Luna, los zapatos, las pestañas, todo puede descomponerse en algo más sencillo, en un constituyente más elemental.

Gracias a eso parecía que estábamos cada vez más cerca de comprender el mundo.

Joseph John Thomson

Como has visto, Dalton redujo el mundo material, pero en cierto modo también lo amplió. La reducción fue en un sentido práctico: a partir de entonces nos resultó más fácil entender la realidad, y la ampliación fue conceptual, porque desde ese momento la ciencia se convirtió en una herramienta mucho más poderosa de lo que había sido hasta entonces, dando nacimiento a la química moderna.

Pero faltaba todavía mucho camino. Y fue entonces cuando aparece un tipo curioso, inteligentísimo y fascinante: el gran J. J. Thomson.



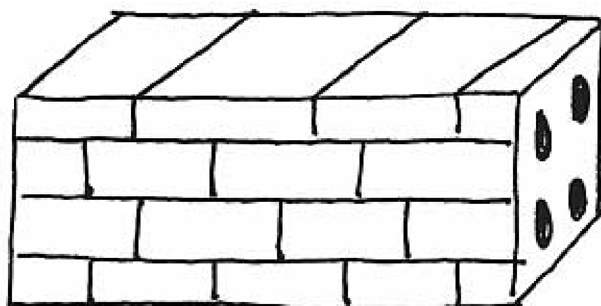
El día 18 de diciembre de 1856, en Manchester, Inglaterra, nació el señor que aparece fotografiado arriba. Logró ser profesor de física en los laboratorios Cavendish, ese centro de investigación que debe su nombre al timidísimo químico del que te hablé, algo que, sin duda, le habría incomodado en extremo si hubiese vivido para verlo.

Thomson quería saber cómo eran en realidad esos átomos que, según el trabajo de Dalton, componían en última instancia el mundo. Nunca llegó a sospechar que terminaría descubriendo algo que revolucionaría para siempre el estudio de la materia.

Nuestro amigo estaba investigando el comportamiento de algo extraño que llevaba de cabeza a los científicos del momento: los rayos catódicos. Nadie sabía en realidad lo que eran, pero siempre se producían cuando un tubo de vidrio se vaciaba, extrayéndole el aire, y se aplicaban determinadas cargas eléctricas. Algo se movía dentro de esos tubos, y resultaba importante saber qué era.

Thomson dedujo que se trataba de pequeñas partículas cargadas eléctricamente. Incluso demostró que su carga eléctrica tenía que ser negativa. El comportamiento de estos minúsculos trocitos de materia sólo podía ser explicado dando por supuesto que eran mucho más pequeños que los átomos.

Ahora piensa un momento en la frase «más pequeño que los átomos». En realidad resulta escalofriante, porque conduce a una deducción tremenda. Algo más pequeño que aquello que se consideraba «el componente más pequeño de la materia» ha de ser, a su vez, un componente de ese componente. En otras palabras, el átomo de Dalton no era el ladrillo del que estaba formado el mundo. Había ladrillos más pequeños que formaban el ladrillo atómico. El ladrillo del ladrillo.



Si Demócrito hubiera resucitado y hubiera ido desde su tumba hasta el laboratorio Cavendish para hablar con Thomson, sin duda le habría dicho: «Usted no me ha entendido para nada, ni a mí ni a Leucipo. Como debería saber, en mi idioma natal, *átomo* significa "indivisible", y algo más pequeño que *lo indivisible* resulta, cuando menos, ligeramente chocante. Cuando yo hablaba de átomos como componentes últimos de la realidad, estaba visualizando mentalmente lo más pequeño posible.»

Es probable que, en ese momento, Thomson, algo aturdido, se hubiera frotado los ojos y, tras algunos minutos de estupor, hubiese mantenido con el viejo sabio una conversación más o menos como la siguiente:

THOMSON: Querido Demócrito, no hable usted de mí y de mi trabajo en esos términos. Le ruego que sea paciente. Desde su muerte, han pasado muchas cosas y créame si le digo que, si no fuera por personas como yo, su nombre no sería tan respetado como lo es ahora.

DEMÓCRITO: Y yo se lo agradezco, de verdad, pero no me negará que resulta contradictorio encontrar cosas más pequeñas que *las más pequeñas posibles*.

THOMSON: Entiendo lo que quiere decirme, pero tal vez debería saber algo para llegar a entenderme del todo. En su época no se hacía una diferenciación que ahora nos resulta perfectamente natural. Para nosotros, existe algo que podemos llamar *elemento químico*. Y esos elementos son los que tienen como constituyente

último el átomo. Al menos, tal cosa es la que se desprende de los trabajos de hombres tan importantes como John Dalton, otro gran admirador suyo. El átomo que nosotros tenemos en mente, a diferencia del de usted, es el ladrillo de los elementos químicos, no el ladrillo de la *materia*.

DEMÓCRITO: Pero, entonces, ¿cuál es la diferencia entre elemento y materia?

THOMSON: Materia lo es todo. Usted y yo somos materia, y esta mesa, y este suelo que está pisando. Pero toda esa materia está formada por mezclas de elementos químicos. Por ejemplo, usted está formado por carbono, azufre, calcio, hierro...

DEMÓCRITO: ¿Yo estoy hecho de hierro?

THOMSON: Entre otras cosas, aunque le cueste muchísimo creerlo. Pero déjeme continuar. Cada uno de los elementos de los que usted y yo estamos compuestos tiene un componente último. En el caso del hierro, se trata del átomo de hierro.

DEMÓCRITO: Creo que estoy entendiéndole. Está insinuando que el átomo de hierro es la parte más pequeña posible del hierro.

THOMSON: Exacto. Veo que sigue usted igual de listo que cuando paseaba por las calles de su Abdera natal. Piense en el oro, por ejemplo. Suponga que un juez obligara a un hombre profundamente tacaño a regalar un trozo de oro a la comunidad, pero sin especificarle de qué tamaño ha de ser ese fragmento. ¿Qué cree que haría el tacaño?

DEMÓCRITO: Le daría el trozo de oro más pequeño posible.

THOMSON: ¿Por tanto, le daría un...?

DEMÓCRITO: Un átomo de oro. Ahora le entiendo del todo.

THOMSON: En efecto. El átomo de oro es el trocito de oro más pequeño posible, del mismo modo que el átomo de oxígeno es la parte más pequeña de oxígeno. Pero eso no significa que esos átomos, a su vez, puedan estar compuestos por cositas más diminutas. Nuestro átomo, el átomo moderno, no es como el suyo. Nosotros nos referimos a los ladrillos de...

DEMÓCRITO: Utiliza usted mucho la expresión *ladrillos*.

THOMSON: Porque resulta muy gráfica. Continúo. Le decía que nosotros nos referimos, al hablar de átomos, a los ladrillos de cada uno de los muchos elementos químicos que componen el mundo. Ahora yo he descubierto una nueva partícula, más pequeña que el átomo, y deduzco por ello que ha de ser un componente de éste.

DEMÓCRITO: Entonces queda sin resolver todavía qué son los átomos que yo había imaginado.

THOMSON: En cierto modo, tiene usted razón. El constituyente último de la materia, sea cual fuere, todavía no ha sido descubierto, pero en las siguientes páginas de este libro se dan pistas sobre cuál podría ser, al menos según los científicos del siglo XXI.

DEMÓCRITO: De acuerdo. Leeré estas páginas, y no descarto volver a aparecer por aquí para charlar con algún colega del futuro.

Esta conversación, aunque no se produjera realmente, seguro que tuvo lugar en el interior del cráneo de Thomson. Él mismo tenía que explicarse el hecho de haber encontrado un componente atómico, y los razonamientos que aquí hemos esbozado muy bien podrían haber sido objeto de su consideración. Si había algo indivisible, si existía de verdad el componente último de la materia que presagió Demócrito, no se trataba en absoluto de los átomos de Dalton. Existía algo todavía más esencial.

No te preocupes si te has perdido momentáneamente con el asunto de las cargas eléctricas de las que te hablé hace un momento. No es necesario, por ahora, que tengas un claro conocimiento de lo que son. Acabarás entendiéndolo dentro de muy poco. Basta con que sepas eso que tantas veces hemos escuchado: las cargas iguales se repelen y las opuestas se atraen.

Nuestro querido profesor de los laboratorios Cavendish dio un paso de gigante y se atrevió incluso a especular cómo tendrían que ser realmente los átomos, cuál debía ser su forma.

Volvamos a imaginar su pensamiento: «Los átomos de Dalton, según parece, deben ser más grandes que esas partículas rarísimas que he descubierto. Por tanto, mis partículas tendrán que ser componentes del átomo, trocitos de él. Pero esas cositas que yo he detectado son eléctricamente negativas y el átomo no puede ser eléctricamente negativo, porque las cosas de las que están formadas los átomos son neutras. Es decir, no me da la corriente cuando toco las mesas, ni las rocas, ni las manos de otra persona, ni cuando abro un libro. Por tanto, si dentro del átomo hay partículas negativas, debe de haber también otra parte del átomo que sea positiva, para que ambas cargas se anulen y el resultado sea eléctricamente neutro.»

Esta simple reflexión le dio una pista para imaginar cómo tenía que ser físicamente un átomo, algo que nunca nadie había podido ver. Una parte cargada positivamente y unas cuantas partículas negativas de esas que él había descubierto. Pero ¿cómo estaban colocadas? ¿Mezcladas, amontonadas, siguiendo algún orden? ¿De qué modo?

Dar forma al átomo

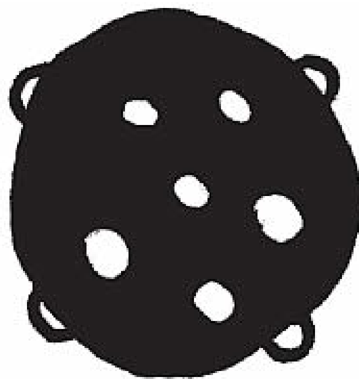
Thomson llegó a la conclusión siguiente: las partículas negativas que él había descubierto tenían que estar en la zona exterior del átomo, desde donde les fuera relativamente sencillo salir. Desde hacía muchísimo tiempo se sabía que las cargas eléctricas negativas se producían de la manera más sencilla del mundo, haciendo frotar un trozo de materia con la manga de un jersey, por ejemplo. Desde que somos pequeños, sabemos que, si restregamos una regla en nuestra ropa, al instante queda cargada eléctricamente, y es capaz de atrapar pequeños trocitos de papel durante unos pocos segundos.

Esta facilidad de la carga eléctrica para salir de la materia con un simple roce era la prueba lógica de que las partículas de Thomson estaban colocadas en el exterior del átomo. Y ahora mira la siguiente fotografía.



Se trata de un pastel de pasas. Esta imagen, aunque te parezca extraño, es la que se utilizó para explicar la forma de los átomos de Thomson. Para él, un átomo era como uno de estos dulces. Las pasas serían esas partículas que él había descubierto, y el cuerpo del pastel era la parte del átomo cargada positivamente.

El átomo de Thomson, por tanto, era así.



Las partículas de Thomson fueron bautizadas años después con el nombre de *electrones*, y así se los conoce todavía hoy.

Ahora sabemos que estas partículas pequeñísimas son las que circulan por dentro de los cables cuando enchufamos cualquier cosa. Los electrones son la electricidad. O, por decirlo con más precisión, la electricidad es el flujo de esos electrones. Cada vez que enchufes algo, piensa que a través de los cables viajan a una velocidad de vértigo esas cositas pequeñas que descubrió nuestro amigo.

El trabajo de Thomson generó por primera vez en la historia de la humanidad una idea gráfica aproximada de cómo podrían ser esos átomos que habían empezado a existir tan sólo en la imaginación de los antiguos griegos.

Todo lo que nos rodea estaría formado por pequeños pasteles de pasas, diminutos, insignificantes, que forman la base de todo. Este primer diseño atómico fue un avance impresionante, pero aún tenían que hacérsele unos cuantos retoques.

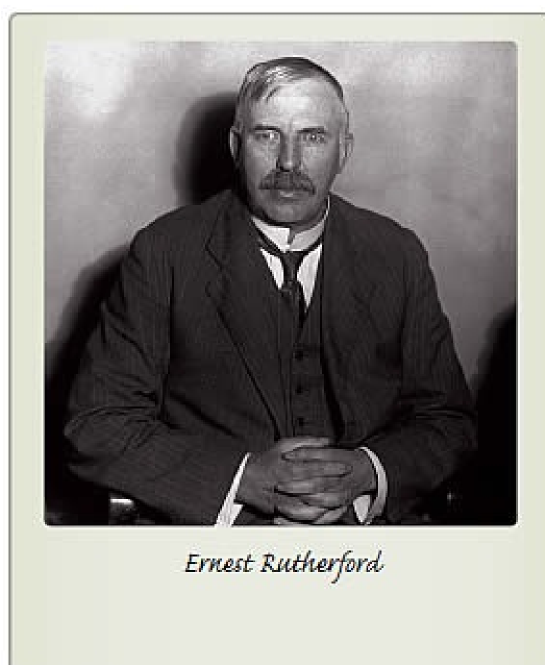
Y ahora prepárate, porque te voy a hablar de universos en miniatura. ¿Te das cuenta de hasta dónde nos está llevando intentar contestar a la pregunta de por qué arde el Sol?

Sistemas solares de bolsillo

Lo que te voy a contar ahora me produjo un gran impacto cuando lo aprendí. Sentí una especie de estupor, de extrañeza, de confusión, pero mezclado todo con una idea bastante nítida que me aseguraba que el universo, fuera lo que fuese, era algo extraordinario.

Muchas veces ocurren esas cosas. Sólo hay que estar un poco atento. De repente, sin saber por qué, al conocer algo que otros han imaginado, te invade una rarísima emoción que despierta tu curiosidad sin que puedas evitarlo. Entonces, te vuelves un tipo rematadamente feliz durante un buen rato, y no me negarás que la felicidad, aunque dure poco, es algo que merece la pena experimentar. Cuando eso ocurre debido a una impresión intelectual, cualquier cosa que no sea aquello que te ha emocionado deja de interesarte por completo. Sólo tienes ojos, oídos, olfato y cerebro para esa novedad sorprendente que otros te han contado. Quieres agradecer al mundo que sea así, como es, con ese misterio brillante, absurdo y raro, y te sientes afortunado por pertenecer a un universo en el que las cosas más impensables tienen posibilidades de ser ciertas. Estoy seguro de que a ti te va a pasar algo similar.

Esta historia la protagoniza un chico inteligente, muy bueno en deportes, pero muchísimo más en matemáticas y física, que un buen día abandona su país y decide viajar hasta los laboratorios Cavendish para seguir las enseñanzas del gran Thomson.


Ernest Rutherford

Ernest Rutherford fue un tipo fuera de serie, grandote y con un tremendo vozarrón. Nació en agosto de 1871 y era admirado por todos sus profesores, sin excepción. Era generoso ya de joven, y lo fue siendo cada vez más, ayudando en el futuro a sus propios alumnos, algunos de los cuales llegaron a recibir el premio Nobel gracias a su apoyo desinteresado. Fue querido por todos. Se trataba de esa clase de gente cuyo talento resulta evidente a cien metros. Desde pequeño empezó a brillar en ciencias. Cualquier cosa que le enseñaban la aprendía al instante, y formulaba preguntas que quedaban fuera del alcance de sus profesores. Así que lo único que él podía hacer era investigar para obtener por sí mismo las respuestas.

Siendo adolescente, inventaba cosas que dejaban con la boca abierta a todos los que tenía alrededor. Estaba claro que ese chaval debía seguir estudiando. Y lo hizo, obteniendo algunas becas que se daban por primera vez en Nueva Zelanda. Creció y se interesó por el trabajo de Thomson y su modelo atómico.



Laboratorio en el que Rutherford trabajaba.

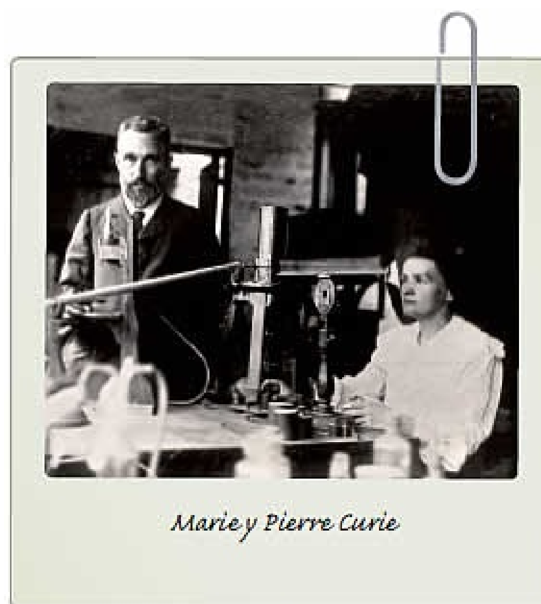
Y admiró mucho esa imagen de la tarta de pasas, pero estaba seguro de que podría ser mejorada. Aquello resultaba de una tremenda utilidad, pero algo le decía que no podía representar fielmente la imagen del átomo.

Rutherford estaba un buen día experimentando con unas partículas llamadas *alfa* que estaban cargadas positivamente, a diferencia del electrón de Thomson, cuya carga era negativa. La historia del descubrimiento de estas partículas está íntimamente relacionada con un matrimonio del que sin duda habrás oído hablar muchísimas veces: los Curie, Pierre y Marie.

Esta pareja de científicos descubrió un nuevo elemento al que bautizaron con el nombre de *polonio*, en un claro homenaje a Polonia, el país de origen de Marie. El polonio es una sustancia muy radiactiva. Por decirlo coloquialmente: emite cosas, algo que no sucede con la mayoría de los materiales que vemos a nuestro alrededor. Las hojas de los árboles, los muebles, el agua, los papeles, los bolsos, los objetos cotidianos no emiten nada, ¿por qué el polonio sí lo hacía?



El hecho de que hubiera materiales que no irradiaban nada y otros que sí lo hacían generó, como es lógico, la curiosidad del mundo científico. A esta propiedad que poseían algunos materiales se la llamó *radiactividad*. Se vio que ese algo misterioso que emitía el polonio era un haz de partículas a las que bautizaron con el nombre de *alfa*, la primera letra del alfabeto griego.



No te preocupes. No es preciso que tengas una idea clara de lo que es la radiactividad. Ten en mente, de momento, que una sustancia llamada *polonio* emite unas partículas llamadas *alfa*. Pues bien, Rutherford, como sin duda tú ahora mismo, quiso saber qué eran esas partículas alfa.

Rutherford empezó a pensar cómo podría llegar a averiguarse la naturaleza de esas extrañísimas partículas. No había microscopio capaz de verlas ampliadas, no se podían pesar, ni medir ni tocar. ¿Cómo era posible, pues, descubrir lo que eran?

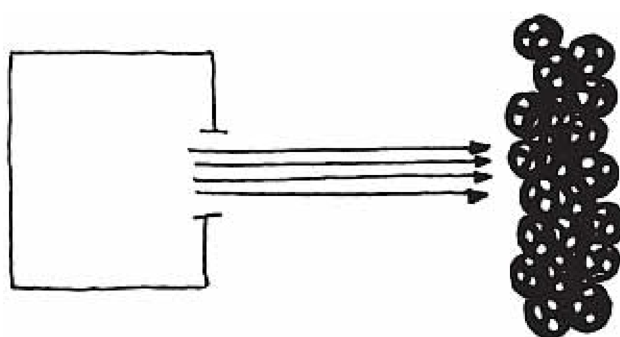
Ernest era un buen científico y, por tanto, sabía que la experimentación era la única forma de adquirir conocimiento acerca de las cosas. Así que ideó un experimento curioso para saber qué eran esas diminutas partículas.

EL EXPERIMENTO DE LA LÁMINA DE ORO

Es como un cuento de hadas: un hombre grandote y bonachón con voz de ogro, una lámina de oro y un rayo misterioso. Con estos elementos, los hermanos Grimm podrían haber construido una historia excelente, no me cabe duda, pero se trató en realidad de un experimento científico que cambió para siempre la historia de la física.

Rutherford pensó que sería una buena idea dirigir un haz de esas partículas hasta una lámina de oro para que la golpearan. Para ello, sería preciso formar un rayo compuesto por ellas. ¿Cómo? Se sabía que las partículas alfa no atravesaban el plomo. Así que una forma excelente de crear un rayo de partículas alfa era encerrar una muestra de polonio en una caja de plomo y hacerle un pequeño agujerito para que saliera la radiación.

Ya tenía un rayo perfectamente aislado. Ahora sólo faltaba dirigirlo hacia esa lámina de oro. Rutherford lo hizo y pacientemente observó el resultado.



Experimento con átomos de Thomson.

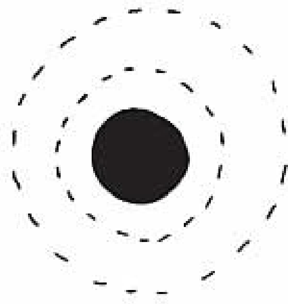
Vio que la mayoría de las partículas atravesaban la lámina, pero en ocasiones ocurría algo extraordinario. Algunas de ellas rebotaban y regresaban hasta la caja de plomo.

Aquello causó un gran impacto en el científico. Llegó a decir que fue la sorpresa más grande de su vida, y lo comparó con una bala que se dirigiera a un trozo de papel y, en lugar de atravesarlo, rebotara y matara al hombre que la había disparado.

Las partículas alfa que regresaban eran una minoría, aproximadamente una de cada diez mil, pero eso no restaba extrañeza al fenómeno.

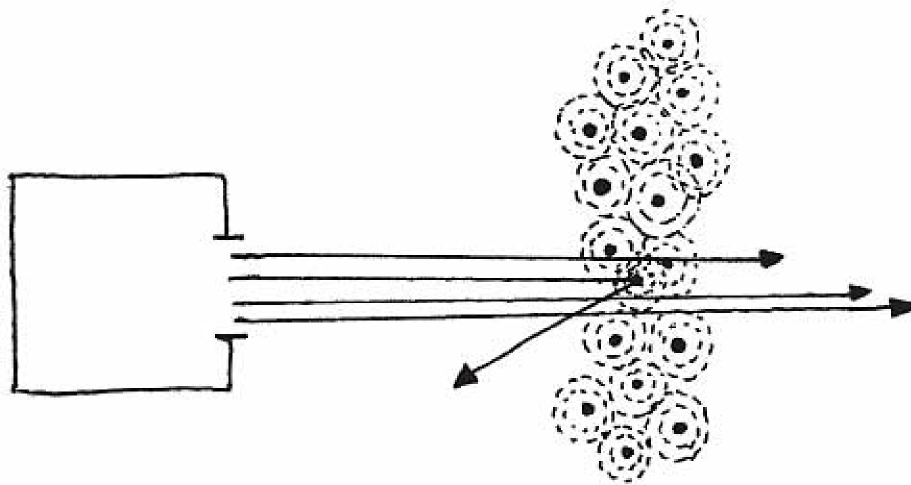
¿Por qué rebotaban? Nuestro protagonista pensó que si Thomson tenía razón y los átomos eran como pasteles de pasas, eso jamás podría ocurrir.

Con unos átomos así, no se entendía el resultado observado. Rutherford decidió concentrarse e imaginó cómo deberían ser realmente los átomos para que su forma cuadrara con lo observado en el experimento. Su idea fue genial. Los átomos, pensó, no son como pasteles de pasas. En realidad, son así:



Átomo de Rutherford.

Un núcleo central positivo y unos electrones situados en el exterior. De este modo, el experimento de la lámina de oro sería así.



Eso lo explicaría todo. La mayoría de las partículas alfa atravesarían la lámina pasando por los inmensos espacios vacíos. Pero una minoría, estadísticamente, chocaría con la parte central del átomo y rebotaría.

La cadena de razonamientos es perfecta, pero surge un pequeño problema. ¿Por qué los electrones no se caen al núcleo, teniendo en cuenta que las cargas opuestas se atraen?

¿No te suena algo esa pregunta?

Piensa detenidamente. Te la repito: ¿por qué no se caen los electrones al núcleo?

¿No te recuerda nada? Sustituyamos *electrón* por *Luna,* y *núcleo* por *Tierra* y obtenemos la siguiente pregunta: ¿por qué no se cae la Luna a la Tierra?

Ruego que aparezca por tercera vez la impresionante palabra.

GENERALIZAR

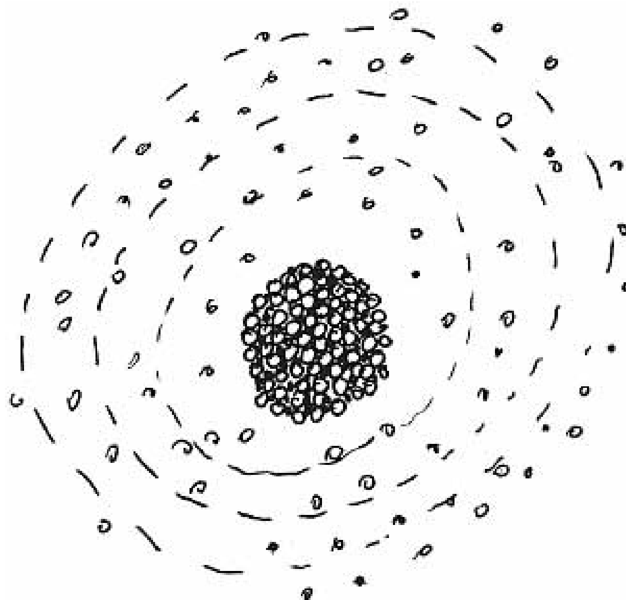
Ernest Rutherford generalizó e imaginó que la razón por la cual no se caen los electrones al núcleo era *la misma* que explica que la Luna no se caiga a la Tierra. De ese modo, los electrones podrían estar haciendo exactamente lo mismo: girar alrededor del núcleo atómico.

Es escalofriante pensar que, bien mirado, se trata de un sistema solar en miniatura, algo que, por supuesto, le llamó muchísimo la atención a Rutherford. Los electrones serían los planetas y el núcleo atómico representaría el Sol. Es como si nuestro universo repitiera los esquemas, como si lo que es válido a escala gigante también lo fuera en el mundo de lo muy pequeño, una especie de repetición constante con una simetría magnífica.

¿Te das cuenta, Ulises? Según nuestro altísimo y bonachón amigo de voz grave, dentro de ti hay miles de millones de trillones de sistemas solares. Están en tus pestañas, en tus cabellos, en la planta de tus pies, en los bocadillos de salchichas, en las nubes, en el pico de los pájaros, en los trocitos de hielo, en los granos de arena. Absolutamente en todas partes.

Terminar de dibujar el átomo

El modelo de Rutherford fue perfeccionándose y terminaría convirtiéndose, con algunos retoques, en un núcleo en el que la carga positiva no era una bola densa, sino un conjunto de pequeñas bolitas cargadas positivamente, alrededor de las cuales orbitaban los electrones de carga negativa. Esas diminutas bolitas del núcleo fueron llamadas *protones*, y tienen la misma carga eléctrica que el electrón, pero de signo positivo. Cualquier elemento químico era conocido por un número, *su número atómico*, que representaba cuántos protones y electrones poseía. El número de protones y el de electrones era idéntico. Por ejemplo, un átomo de oro, ese que a regañadientes entregaría el tacaño del que hablaba Thomson a Demócrito, sería así.



Setenta y nueve protones en el núcleo y setenta y nueve electrones girando alrededor. Como las cargas del mismo signo se repelen, tenía que existir un pegamento que uniera los protones en el núcleo, porque de lo contrario acabarían alejándose unos de otros. Ese pegamento no es otro que una partícula llamada *neutrón*, sin carga eléctrica. Los neutrones mantienen unido el núcleo.

¿Y qué eran, entonces, las partículas alfa? Eran pequeñas, pero mayores que el núcleo del átomo de oro. Y, como él, su carga era positiva (por esa razón una minoría de ellas salía disparada al chocar contra el centro del átomo de la lámina). Es fácil deducir, pues, que se trataba de algo parecido a un trocito de núcleo de oro. Como no existen trocitos de núcleos de oro, lo correcto es suponer que se trata del núcleo de otro elemento más ligero. Hoy sabemos que las partículas alfa son núcleos de helio, formados por dos protones y dos neutrones capaces de engancharlos.

¿Y qué tamaño tiene un átomo? Para hacerte una idea, piensa en un milímetro.

-

Este guión mide un milímetro. Ahora, mentalmente, divídelo en mil partes. ¿Lo tienes? Pues ahora divide de nuevo una de esas mil partes en otras mil. Es decir, algo un millón de veces más pequeño. Sigamos. Esa millonésima divídela a su vez en diez partes. A esa unidad de medida se la llama *ángstrom*. Pues bien, eso es lo que mide aproximadamente un átomo.

Ni Demócrito en sus más enloquecidos sueños podría haber imaginado algo así.

Casi nada

Existe una implicación insólita si aceptamos el modelo de Rutherford. La realidad, Ulises, es casi hueca. Mira a tu alrededor. Todo lo que ves está formado por átomos y ellos son, en casi su totalidad, espacio vacío. La silla en la que te sientas a cenar, la misma cena que comes, tu boca, tus manos, yo, el autocar que te lleva al colegio, absolutamente todo, a nivel microscópico, se desvanece. No es casi nada. Más del 99,9999999 por ciento de la materia es profundamente hueca. La férrea realidad que creemos ver a diario no existe como creemos percibirla. Eres, casi por completo, espacio vacío.

Cuando tu mano toca una mesa y se oye un ruido, te da la impresión de que todo es sólido. La idea del vacío parece quedar desmentida por la sensación que tienes al golpear las cosas. Pero esa impresión es una ilusión. En verdad, presionas cosas porque los electrones externos de los átomos de tus manos repelen los electrones externos de los átomos de las cosas que tocas. Pero todo es hueco, hijo mío. El universo, tal como nos enseñó Rutherford, es un escenario rotundamente desocupado.

La demostración

Como sin duda te habrás dado cuenta, en ningún momento te he dicho que alguien viera un átomo. Era una hipótesis de trabajo, algo que explicaba tremendamente bien lo que se observaba al realizar ciertos experimentos. Pero la demostración de la existencia real de los átomos quedaba todavía muy lejos.

La ciencia opera de esa manera en muchísimas ocasiones. Se supone que algo es real porque su existencia explica unos comportamientos que no podrían ser comprendidos de otro modo. Es decir: para que la naturaleza se comportara como lo hacía, el átomo *tenía que ser* como Rutherford había dicho que era.

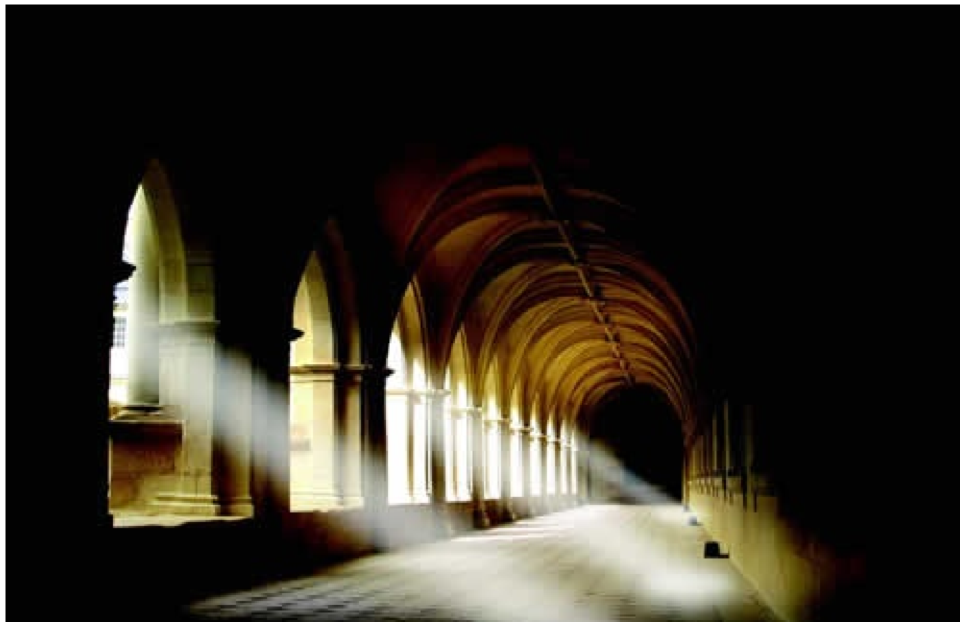
Aunque la existencia de los átomos era algo que todos los científicos asumían como cierta, ésta no pudo llegar a demostrarse hasta que alguien decidió estudiar un extraño fenómeno protagonizado por las flores.

La aparente frialdad de los átomos contrasta con la belleza de los campos llenos de flores, pero, afortunadamente para la ciencia, la naturaleza está magníficamente conectada.

Las flores, como sabes, se reproducen mediante el polen. Si observamos con un microscopio el movimiento de granos de esta sustancia suspendidos sobre un lago, percibimos algo realmente curioso: el polen parece bailar sobre el agua, en una danza en apariencia azarosa y caótica que se conoce como *movimiento browniano*, en homenaje a Robert Brown, el botánico que en 1827 se percató por primera vez de este fenómeno. Brown, además, vio después que eso también ocurría con el polvo, y no sólo con los granos de polen.



Fíjate en la foto de abajo. Desde que yo era pequeño, este fenómeno de la luz me ha parecido la cosa más bonita que pueda existir. Nada iguala la belleza de ese trazo recto que los rayos de Sol generan cuando entran a través de una ventana. Si te fijas bien la próxima vez que eso ocurra, verás que las partículas de polvo quedan iluminadas por el rayo de luz, generando un efecto granulado. Si miras con detenimiento, verás bailar ligeramente el polvo. Ése también es el movimiento browniano.



El poeta Lucrecio, que nació alrededor del año 100 antes de Cristo, era un gran admirador de la obra de Demócrito, y un tremendo defensor de su primitiva teoría atómica. Decidió hacer algo que, hoy en día, sería insólito: divulgar la física en un poema magnífico titulado «La naturaleza de las cosas» (un título muy usado por todos los filósofos). En él nos habla de la belleza de los rayos iluminando el polvo.

> Observa lo que acontece cuando rayos de Sol penetran en una estancia, arrojando luz sobre los lugares oscuros. Verás multitud de pequeñas partículas moviéndose en un sinnúmero de caminos, en un baile que, sin duda, es muestra de movimientos más pequeños escondidos a nuestra vista.

Lo que el poeta hace aquí tiene una importancia fundamental, porque fusiona dos aspectos de la realidad que tradicionalmente han estado absurdamente separados: la poesía y la ciencia, el mundo de los átomos y la belleza estética, la razón y la emoción, dos elementos de la condición humana que muchos se empeñan en separar pero que, juntos, y sólo juntos, nos definen como lo que realmente somos.



Lucrecio

Lucrecio atribuye esta danza casi invisible a la existencia de los átomos de Demócrito, que de algún modo se golpean entre sí, una intuición genial que fue retomada dos mil años después por un joven alemán absolutamente despeinado.

Albert Einstein

Aquí lo tenemos. Es, sin duda, el científico más famoso del mundo, el símbolo de la inteligencia, el prototipo de mente genial. La importancia de sus aportaciones está fuera de toda discusión.



Te hablaré con detalle de él dentro de muy poco, pero por ahora me interesa que nos centremos en algo en lo que él se fijó en 1905.

En ese año, Einstein trabajaba en una oficina de patentes en Berna. Tenía que ganarse la vida y aquel empleo era algo tranquilo que le daba la oportunidad de dedicarse a ratos perdidos a pensar en sus cosas.

Quiso explicar el movimiento browniano y empezó a hacer cálculos. Después de rellenar varias hojas con fórmulas matemáticas, llegó a la conclusión siguiente: los granos de polen se mueven erráticamente porque son golpeados por las moléculas del agua. Pequeños desplazamientos y choques atómicos eran la explicación a ese azaroso movimiento.

Ésa era la única explicación posible. Unas semillas de flores flotando en el agua sirvieron para que el genio de Einstein demostrara, por primera vez en la historia, que los átomos existían sin ningún género de dudas y que eran los responsables silenciosos de esa extrañísima danza.

El trabajo que hizo justicia al gran Demócrito de Abdera y a aquellos atomistas de la antigüedad no estaba escrito en griego, sino en alemán. El título que Einstein decidió poner a su trabajo fue «Über die con der molekularischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen». Es decir, «Sobre el movimiento requerido por la teoría cinética molecular del calor de pequeñas partículas suspendidas en un líquido estacionario». Detrás de esas extrañísimas palabras se ocultaba el rotundo «sí» a los antiguos atomistas griegos.

Y ahora debo hablarte de la luz. Todo puede parecerte muy disperso, pero verás cómo termina cuadrando magníficamente. Es como esas series de televisión que van lanzando cabos sueltos que se terminan atando siempre al final. Para comprender la luz, retrocedamos hasta Newton. Sé que te estoy mareando un poco, pero el final del viaje valdrá la pena.

De vuelta al siglo XVII

Bien, ya estamos aquí de nuevo, al lado de Isaac, ese niño que jugaba con las conchas marinas sentado frente al gran océano de la verdad.



Newton no sólo se interesó por la fuerza de la gravedad. La luz también le llamó muchísimo la atención. No es para menos. Es de esas cosas que, si lo piensas bien, te hacen perder un poco la cabeza. Existe, pero no sabemos qué es. Parece que no pesa nada, está en el aire pero no la podemos atrapar. Lo inunda todo sin llenar aparentemente nada. ¿Qué es, exactamente?

Recordarás que Galileo se formuló también estas preguntas, e intentó, además, medir sin éxito su velocidad. Luego, gracias al trabajo de Olaus Roemer, se llegó a obtener esa cifra con muchísima precisión.

En la imagen que te he puesto aquí, vemos a nuestro amigo haciendo algo raro con un rayo de luz. Ese triángulo que ves se llama *prisma*. Un día, a Newton le dio por oscurecer su habitación. Cerró todas las ventanas y dejó solamente un agujerito para que se filtrase un diminuto rayo solar. Vio que al pasar por el prisma, ocurría algo insólito.



La luz blanca que llegaba del exterior se dividía en varios rayos de distintos colores. ¿Qué podía haber pasado? El genial científico lanzó su hipótesis: la luz está formada por partículas diminutas. No son todas iguales. Algunas tienen más fuerza que otras. El prisma las separa en función de esa fuerza con la que golpea el cristal. Cada color tiene su partícula de luz asociada.

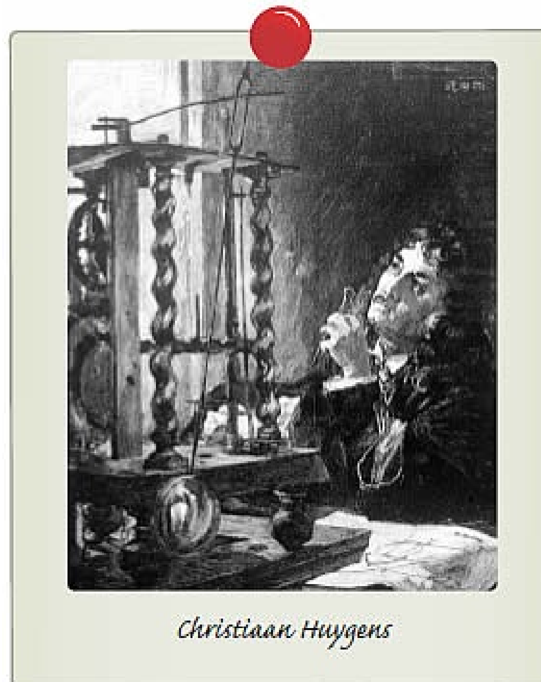
En aquel tiempo, en Holanda, vivía otro científico muy importante llamado Christiaan Huygens, que también estaba profundamente interesado en comprender la naturaleza de la luz. Sin embargo, su hipótesis era del todo distinta a la de Newton. Para él, la luz no era una colección de partículas, sino una onda.

Cuando tú hablas, provocas que el aire que está cerca de tu boca se mueva. Ese movimiento se va propagando. Cada porción de aire en movimiento mueve a su vez el que está a su lado, propagándose en la forma de una onda.



En este caso, obviamente, se trata de una onda de sonido. Huygens creía que lo mismo ocurría con la luz y, según su teoría ondulatoria, ésta, al llegar al prisma, se descomponía en colores, ya que cada tipo de onda iba asociada a un color. Parecía razonable también. Al menos, explicaba aparentemente el fenómeno.

Había, pues, dos teorías distintas acerca de la luz. O eran partículas o eran ondas. Newton o Huygens. La respuesta tardaría unos siglos en llegar.


Christiaan Huygens

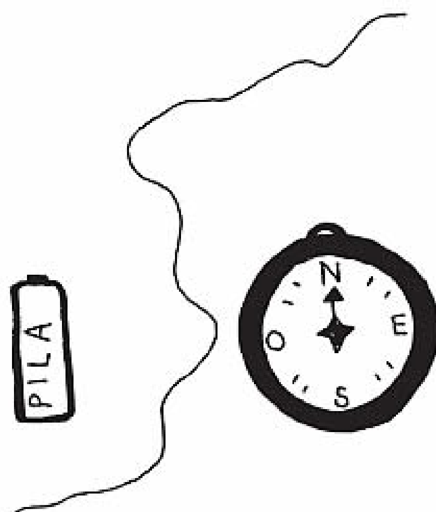
Ahora sería bueno que te contara algo que me pasó hace dos veranos. Creo que es esencial para que entiendas cómo continúa la historia de la luz, y así poder ir respondiendo poco a poco a todas las preguntas que nos hemos ido formulando.

No me están engañando

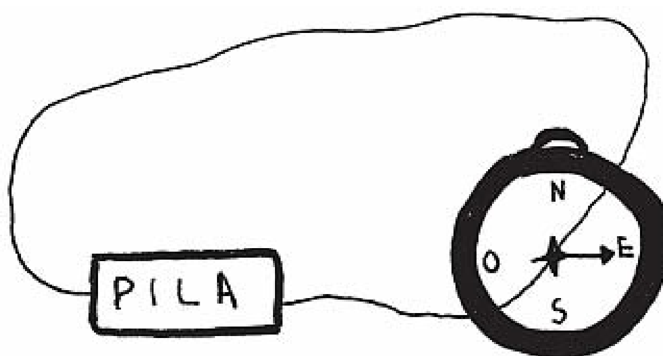
La ciencia no se parece a casi ninguna otra cosa en el mundo. Tiene similitudes con todo, claro está, pero se rige por principios propios. Por ejemplo, comparte con la religión cierto sentimiento de misterio remoto, pero hay algo en ella que la hace ser distinta a todo lo demás. De eso me di perfecta cuenta una tarde calurosa.

Era el mes de julio y yo estaba aburrido. Llevaba mucho rato leyendo un libro sobre física y me apetecía hacer algo para airearme. Así que fui a un chino, compré una brújula y me fui a casa con la intención de hacer un experimento.

Saqué una pila de la radio y me hice con un trozo de alambre que sobraba del cable de tender la ropa.



Con la pila conectada al cable (cada extremo a uno de los lados) acerqué el alambre a la brújula y observé que se movía.



Al ver ese movimiento de la aguja, me sentí profundamente acompañado en la vida. Noté algo extraño, cierta sensación de pertenecer a un colectivo amable, algo que me demostraba que el ser humano no es en absoluto perverso. En el mundo podrían ocurrir cosas espantosas, pero existía un refugio. Aquella brújula moviéndose me lo demostraba.

No te creas que tuve una iluminación mística ni nada de eso. En realidad se trató de una experiencia perfectamente científica, pero que en mi caso tuvo connotaciones humanas. ¿Por qué? Resulta que en el libro de física que estaba leyendo se hablaba del trabajo de un tipo llamado Oersted nacido en 1777 que descubrió que una brújula se mueve cuando se le acerca una corriente eléctrica.

Hasta que no hice ese experimento, yo había dado por supuesto que todo lo que se escribía en los libros de física era cierto. Me lo decían unos señores que sabían mucho y yo simplemente lo aceptaba. Mi confianza en esos tipos era absoluta, claro está, pero hasta que no lo vi con mis propios ojos no pude tener la certeza real de que los científicos no pretenden en absoluto tomarnos el pelo.

Te hablaba hace un momento de la religión. Las aseveraciones que se hacen en ese ámbito no pueden confirmarse, por muy valiosas que puedan resultar para muchas personas. Puedes leer el Evangelio de san Mateo, pongamos por caso, pero no puedes

realizar ningún experimento en casa para confirmar que lo que allí estás leyendo ocurrió realmente. La ciencia, sin embargo, te permite que seas tú mismo el que llegue a las conclusiones que describe. Es nítida y nos ofrece a todos la posibilidad de reproducir los experimentos que otros llevaron a cabo.

Confirmar en mi habitación lo que se me decía que ocurría hizo que se multiplicara por mil mi confianza en el método de la ciencia.

Te he contado esta experiencia personal por dos cosas distintas. Por un lado, quería hacerte partícipe de una emoción, pero también deseaba que conocieras el experimento de Oersted, porque es esencial para que llegues a entender la naturaleza de la luz, algo a lo que no llegaron ni Newton ni Huygens.

¿Recuerdas los electrones que descubrió J. J. Thomson? La electricidad no era más que un flujo de electrones corriendo dentro de un cable. Esas partículas subatómicas cargadas negativamente viajan entre las paredes de las casas y salen disparadas a través de los enchufes cuando conectamos algo. Y también son las que circulaban por el cable de la ropa de tender que había conectado a una pila. Electrones en movimiento. Eso es la electricidad. Las pasas del pastel atómico de Thomson viajando dentro de un alambre. ¿Cómo podían esas partículas modificar el comportamiento de una brújula?

Antes de Oersted, a una brújula sólo se la podía alterar con un imán. Sin su intervención, la aguja señalaba siempre al norte de nuestro planeta, pero gracias a su experimento comprobamos que la electricidad también podía hacerlo.

Esto resultó ser el inicio para comprender un poco mejor la naturaleza del universo, pero era necesaria la intervención de un niño que se había criado en la más absoluta miseria.

La pobreza de Michael

En 1791, el mismo año en el que murió Wolfgang Amadeus Mozart, nació un niño llamado Michael Faraday, en Newington, Inglaterra. Su padre era un herrero al que no le iba precisamente bien en la vida. Por mucho que lo intentara, no levantaba cabeza. La herrería iba de mal en peor; los clientes no existían y los ingresos eran nulos. La revolución industrial empezaba a provocar que lo que él llevaba a cabo en su establecimiento pudiera hacerse mucho más rápido y a un precio mucho menor con la ayuda de las nuevas máquinas. Su vida, por tanto, era un desastre. Si Mozart lo hubiera conocido, creo que habría considerado muy seriamente la posibilidad de dedicarle la *Lacrimosa*, su última composición.

Como consecuencia de todo lo anterior, la familia Faraday pasaba hambre y el pequeño Michael no podía dedicar demasiado tiempo a estudiar, algo que irónicamente fue extraordinario para el discurrir de la ciencia. Empezó a trabajar muy pronto. A los catorce años consiguió un puesto como ayudante de encuadernador muy cerca de Londres.

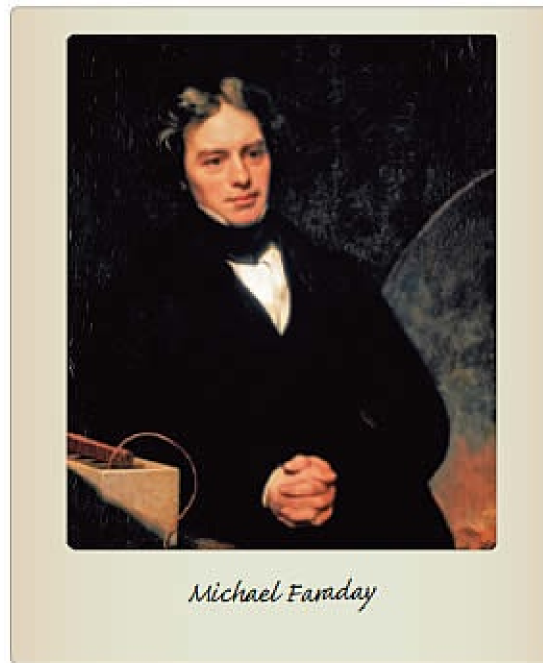
A pesar de no recibir un salario demasiado digno, aquel extraño trabajo fue lo mejor que podría haberle ocurrido, porque lo aprovechó para leerse de un tirón todos los libros que se veía obligado a encuadernar. No todos eran magníficos, por supuesto, pero afortunadamente se topó con algunos volúmenes extraordinarios: tratados de química, física, astronomía, botánica y matemáticas.

Ni que decir tiene que su jefe, un hombre bondadoso llamado Georges, se daba cuenta de todo. Otro en su lugar se habría molestado un poco y le habría censurado que dedicara tanto tiempo a la lectura, pero aquel hombre resultó ser un tipo encantador. Supo ver en el joven Faraday un talento que había que potenciar.

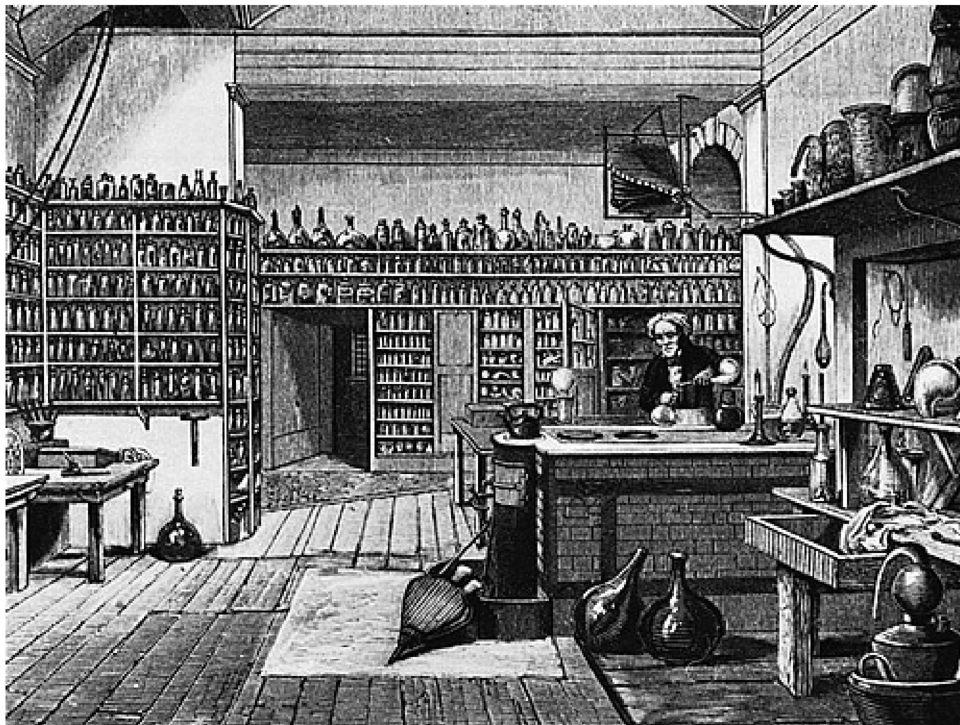
Un buen día, Georges observó que su aprendiz, además de leer, escribía algo en un diario. En un principio debió de pensar que sería el típico escrito de adolescente en el que tal vez narrara con lenguaje fingidamente poético sus inquietudes sobre la vida y tal vez sobre el amor, pero echando una ojeada comprobó que aquello era la obra de un genio. Se trataba de un diario científico, en el que anotaba concienzudamente todas las reflexiones que le originaban aquellos libros que leía antes de encuadernar.

Ese diario fue esencial en su vida. Un importante científico lo encontró casualmente en la tienda del señor Georges y decidió llevarse al chaval para convertirlo en un físico de verdad, pero lo esencial de su formación fue del todo autodidacta. El acceso al conocimiento que le proporcionaba estar rodeado de libros, unido a la ausencia de presión académica, convirtieron a Michael en uno de los hombres más brillantes de la historia. Albert Einstein lo admiraba tanto que en las paredes de su estudio sólo tenía una fotografía de Faraday.

Ya con la ayuda de algunos importantes hombres de ciencia de la época, empezó a asimilar el espíritu de la investigación y a ver en ella cierta similitud con sus creencias religiosas. La familia Faraday pertenecía a una secta cristiana llamada *los sandemanianos*. El nombre puede resultar cómico, pero te aseguro que ellos se lo tomaban muy en serio. Michael estaba convencido de que esas leyes de la naturaleza, que tan bien describían aquellos libros, eran el modo que tenía Dios de comunicarse con nosotros.



Esta actitud religiosa ante el conocimiento no le abandonaría jamás. Si la curiosidad ya de por sí es un aliciente poderosísimo para intentar alcanzar el conocimiento, la idea —errónea o no— de que con ese acceso estamos descifrando el mensaje que Dios nos tiene reservado sin duda resulta un gancho que le hizo trabajar con tesón durante toda su vida.



¿Cómo se aclararía Faraday con tantos frascos?

La idea de que Dios se comunica con nosotros a través de las leyes naturales no era nueva. Galileo ya había defendido algo similar cuando afirmó que el libro de la naturaleza está escrito en lenguaje matemático, y que sólo mediante su comprensión podemos acceder a la mente del creador. Kepler, el científico que descubrió que las órbitas de los planetas no son circulares sino elípticas, consideraba que Dios era el Gran Geómetra, y Newton expresó en varias ocasiones y de distintos modos un pensamiento similar. Sin embargo, pese a que muchos científicos de la antigüedad hayan defendido esta creencia, no deja de ser eso; una creencia, algo que pertenece a un ámbito distinto al de la ciencia, un sentimiento que se percibe en el pecho, donde notamos también el amor, y que no surge del razonamiento desapasionado y analítico. Por tanto, no se trata en absoluto de un resultado científico, fruto de largos años de experimentación, sino de una intuición religiosa, respetable, pero en absoluto digna de ser tenida en cuenta en la historia de la ciencia.

A pesar de todo, no debemos apartar este tipo de sentimientos y considerarlos como algo sin importancia. Resultaron ser un aliciente para muchos, y cualquier cosa que ayude a comprender el funcionamiento del mundo ha de ser bien recibida. Aunque Faraday tuviera a Dios en la cabeza mientras realizaba sus experimentos, aquí nos interesa otra idea que también estaba perfectamente instalada dentro de su cráneo: la electricidad, a la que no dejaba de darle vueltas.

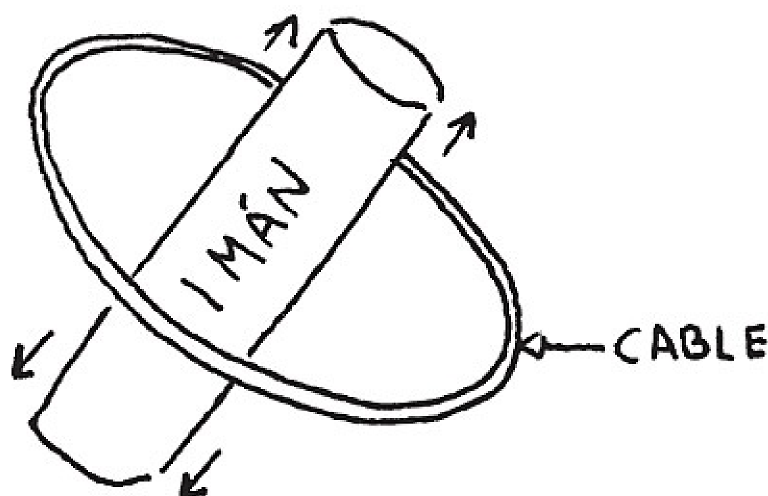
A Faraday le fascinó de inmediato el experimento que hizo Oersted, el mismo que yo reproduje aquel verano y que me causó tanta impresión. Michael reconocía humildemente que no lo entendía en absoluto. Eso no es una muestra de su incapacidad intelectual, sino todo lo contrario. El concepto que él tenía de «entender» no era para nada superficial. Quería llegar hasta el fondo, y eso era algo impensable con los conocimientos de la época.

Cuando se hizo mayor dedicó una gran parte de su vida al estudio de la electricidad, que por aquella época seguía provocando mucha curiosidad en todo el mundo.

Para que entiendas bien lo que hizo Faraday, vuelve a pensar en la pila y en el imán del experimento de Oersted. Recordarás que una corriente eléctrica genera una desviación en un imán. Pues bien, Michael Faraday demostró que a la inversa ocurre exactamente lo mismo: un imán puede provocar una corriente eléctrica.

Un buen día, introdujo un imán dentro de un cable circular y empezó a moverlo perpendicularmente. Al instante, a través de ese cable empezó a circular la electricidad.

Aquello dejó perplejo a Faraday. Estaba claro que había una relación entre la electricidad y el magnetismo, puesto que una generaba la otra. El mundo de los imanes y el mundo de los electrones estaban vinculados de un modo misterioso e inquietante.



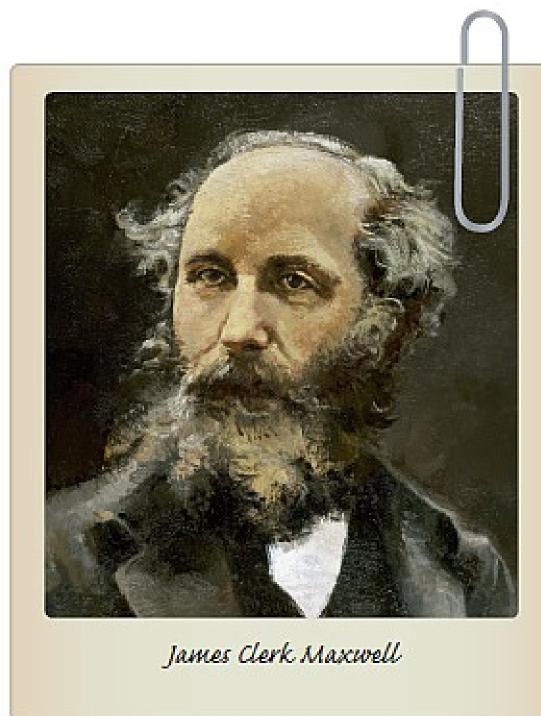
Nuestro amigo, pobre de niño, demuestra lo que la curiosidad hacia la naturaleza es capaz de lograr. Gracias a los experimentos de Faraday, se consiguieron crear aparatos pequeños que podían generar electricidad: simplemente había que mover imanes alrededor de cables y la corriente circulaba. La revolución industrial le debe mucho a este aprendiz de encuadernador, y también a los libros que pudo leer en su primer trabajo. Y, por supuesto, también le debe mucho a Georges, su jefe, que demostró ser comprensivo con el joven genio.

Estamos a punto de comprender lo que es la luz. Los trabajos de Faraday nos dieron la primera gran pista.

No puede ser casualidad

Muchas páginas atrás, lanzamos un interrogante que todavía no hemos llegado a responder: ¿por qué brilla el Sol, cuál es su combustible? Para responder a esta pregunta, empezamos a investigar los átomos, conocimos a Demócrito, a Dalton, a Thomson, al tímido Cavendish, y retrocedimos luego al siglo XVII para presenciar los trabajos de Newton y de Huygens sobre la naturaleza de la luz solar.

Con el personaje del que te voy a hablar ahora, estamos a punto de encontrar una de las respuestas a esa pregunta.



La idea de que la ciencia es bella no es algo que esté presente en la mente de la mayoría de la gente. Belleza y método científico parecen pertenecer a ámbitos distintos, pero lo cierto es que su relación es muy estrecha. Hay momentos en la historia en los que esa relación se aprecia de un modo especialmente claro. James Clerk Maxwell, el señor de la fotografía, protagonizó, él solo, uno de esos magníficos instantes.

Maxwell quedó impresionado por los trabajos de Oersted y Faraday. Que un imán creara electricidad y que la electricidad creara imanes era algo bastante insólito. Así que se puso a pensar en cuál podría ser la explicación a todo eso. Me gusta imaginar que un buen día, estando solo en su casa, cerró los ojos y se puso a pensar algo similar a lo siguiente:

> La electricidad puede producir magnetismo. Esto lo sé por Oersted. El magnetismo puede producir electricidad. Esto lo sé por Faraday. Me gusta esa simetría y no creo que sea casual. Tal vez la electricidad y el magnetismo sean dos manifestaciones de un único fenómeno mucho más profundo, algo que no conocemos todavía y que nos muestra, alternativamente, su cara y su cruz.

Con esta idea maravillosa, Maxwell empezó a realizar cálculos. ¿Qué características tenía que tener ese «algo» para que se comportara en ocasiones como electricidad y, otras veces, como magnetismo? Al instante comprobó que ese «algo» se movía como una onda.

Cuando tiras una piedra a un estanque, se forman crestas y valles, que avanzan desde el lugar del impacto. Creo que este ejemplo del estanque se ha utilizado más de setenta millones de veces en libros de divulgación para explicar qué es una onda. Ésta

debe de ser la vez setenta millones más una. Siempre pensé que yo jamás caería en eso, porque sin duda se me ocurriría algo mejor para ilustrarlo, pero me rindo. No hay otra forma preferible de hacerlo.



Esta onda se produce, como puede saberse casi intuitivamente, porque la piedra mueve el agua en el momento del impacto y el movimiento se va transmitiendo poco a poco hacia fuera.

Maxwell, por tanto, calculó gracias a sus fórmulas que ese «algo» que estaba detrás de la electricidad y del magnetismo se movía como una de estas ondas. ¿Cómo llamarías tú a eso nacido de la fusión de *electricidad* y *magnetismo*? ¿Qué te parece *electromagnetismo*? Es lo más razonable, ¿no? Pues así es como se denomina realmente. Por tanto, la onda que descubrió Maxwell ha de llamarse *onda electromagnética*.

Vamos a hacer un pequeño resumen de todo lo que has ido aprendiendo, porque dentro de pocas líneas te vas a llevar una de las sorpresas más emocionantes de este libro. Tenemos imanes y electricidad. Oersted y Faraday nos demostraron lo profundamente interconectadas que estaban. Maxwell se pone a calcular y descubre que magnetismo y electricidad son manifestaciones de un «algo» que podemos llamar *electromagnetismo* y que se mueve como una onda en el espacio vacío.

Muy bien, perfecto. El electromagnetismo se mueve como una onda. Pero ¿a qué velocidad? Sin duda es una buena pregunta. Maxwell también se la formuló y gracias a las matemáticas obtuvo la respuesta: aproximadamente 300.000 kilómetros por segundo.

Voy a escribirte de nuevo esa cifra: 300.000 kilómetros por segundo. ¿No te suena? ¿Recuerdas aquel desconocido astrónomo danés del que te hablé, el gran Olaus Roemer? Te conté que, gracias a Júpiter y a su luna Io, pudo calcularse la velocidad de la luz.

Te recordaré la cifra.

Velocidad de la luz: 300.000 kilómetros por segundo.

Velocidad de la onda electromagnética según los cálculos de Maxwell: 300.000 kilómetros por segundo.

No puede ser casualidad.

Sería fenomenal haber visto la cara de Maxwell cuando sus fórmulas matemáticas le dieron ese resultado. ¡La luz era una onda electromagnética, y él lo había descubierto! La luz, esa cosa misteriosa que ilumina las calles y las montañas, que da color a las cosas y nos hace ver el mundo, acababa de ser atrapada en unas fórmulas matemáticas. Newton decía que eran partículas. Christiaan Huygens aseguraba que eran ondas. Maxwell acababa de dar la razón a Huygens.

Sin embargo, faltaba por dar respuesta a una cuestión fundamental. Si la luz era una onda, ¿en qué medio ondulaba? Las ondas de agua, por ejemplo, ondulan en el agua; es decir, son movimientos del agua. Las ondas sonoras son movimientos del aire. ¿En qué medio ondulaba la luz?

En ese momento, Maxwell pensó en un señor francés que había nacido 235 años antes que él.

René Descartes nació a finales del siglo XVI. Vivió sólo cincuenta y cuatro años, pero en ese tiempo logró hacer una de las aportaciones más originales a la historia de la filosofía. Le dio por pensar que todo podría ser un sueño. ¿Qué pruebas tenemos de lo contrario? Todo lo que vemos, oímos y tocamos podría estar en nuestra cabeza, y exclusivamente ahí. Cuando estamos soñando, las imágenes que surgen parecen reales por completo. ¿Y si nos estuviera pasando lo mismo ahora, cuando vemos eso que hemos convenido en llamar *la realidad*?


René Descartes

Todas estas reflexiones aparecieron en un libro que publicó a los cuarenta y un años. Su título es asombroso, *Discurso del método con el fin de encaminar la razón y encontrar la verdad en las ciencias*, pero por suerte todo el mundo lo conoce como *Discurso del método*.

Leí este libro hace mucho tiempo, una noche en la que estaba en casa de mi abuela —tu bisabuela, a quien no conociste—, tumbado en una cama plegable que se habilitaba cuando yo iba a dormir allí. Recuerdo la luz anaranjada de una lámpara diminuta. Yo era muy joven en aquel momento. No lo digo para dármelas de chaval inteligente, porque lo cierto es que esta obra de Descartes es de lectura facilísima. Hay novelas populares cuyos argumentos son mucho más intrincados que los del filósofo francés.

Aquellas proposiciones eran impecables. Todo podría ser, en efecto, un sueño, pero no el de cualquiera, sino *mi sueño*. La cama plegable, la lámpara de luz anaranjada, el espejo enorme que mi abuela había comprado hacía muchos años; todo eso podría ser simplemente producto de mi imaginación. ¿Y las demás personas? Nada demostraba que no fueran también invenciones mías. El universo entero, con sus planetas y galaxias, con sus parques y semáforos, podría ser parte de mi sueño. Nada era seguro. Bueno, sí, algo sí: el hecho de que yo estaba pensando. Y para pensar hay que existir. «Pienso, luego existo.» Ésa era la única verdad: yo soy real. Pero todo lo demás bien podría ser fantasía.

El libro continúa dándole vueltas a estas reflexiones para terminar explicándolo todo a partir de argumentos religiosos que, en aquel momento, no me entusiasmaron demasiado. El resultado, tal vez diseñado para reconfortar al lector después del tremendo susto, era que el mundo existía. Y así se quedaron todos tranquilos.

Descartes también fue un excelente matemático e hizo aportaciones científicas. Cuando pensó en los objetos (que por fortuna volvían a existir después de la conclusión de su famoso discurso), dedujo que lo importante de ellos era una propiedad llamada *extensión*. Su largura, su anchura y su profundidad constituían, en último término, las cualidades que se debían tener en cuenta. El espacio vacío resultaba, por tanto, ser algo tremendamente confuso, ya que representaba la ausencia del objeto y, por consiguiente, la privación de todo.

El filósofo, para paliar este asunto, imaginó que el espacio vacío no estaba tan vacío como nos creemos. Aseguró que estaba lleno de una sustancia que no podría ser otra que la extensión. Lo llenaba todo y, al ser real, debía tener propiedades. Era como el éter de Aristóteles, esa sustancia celestial que llenaba los espacios siderales. Pero había una pequeña diferencia en la concepción. Si para el griego la inclusión del éter tenía como finalidad explicar los perfectos movimientos circulares, para el francés resultaba el modo de entender la ausencia de la materia.

Y en eso pensó Maxwell para responder a la pregunta fundamental: ¿En qué material ondula la luz? ¿Qué es lo que se mueve en el espacio vacío para que las ondas de luz transmitan su movimiento generando más ondas? Muy fácil: el éter de Descartes, heredero del de Aristóteles. Eso es lo que se mueve.

Maxwell no fue el primero en tener en mente esta sustancia para incorporarla al mundo físico, pero sin duda él le dio una utilidad asombrosa. Ésa era la explicación. Las ondas electromagnéticas eran simplemente vibraciones del éter de Descartes.

Lo más inquietante de todo es que el gran hallazgo de Maxwell surge de un buen uso de las matemáticas. La buena utilización de unas fórmulas abstractas, unido a una inteligencia magnífica, puede provocar que descubramos secretos bastante íntimos de la realidad.

Una pila, una brújula, un cable y matemáticas. No hace falta nada más para saber lo que es la luz. En cierto modo, esta simplicidad constituye un buen resumen de lo que la ciencia era hasta finales del siglo XIX: una actividad que podía generar conocimiento a partir de elementos muy sencillos. Pero, de repente, como si se tratara de un huracán que llegara de no se sabe bien dónde, las cosas empezaron a cambiar.

SEGUNDA PARTE

El universo incomprensible

Un cambio fundamental

Ulises, era inevitable dividir este libro en dos partes, porque en cierto modo la historia de la ciencia también lo está. Hasta aquí, todo lo que te he contado puede ser entendido utilizando el sentido común. Por muy complejas que puedan resultar las ideas de la ciencia explicadas hasta ahora, la verdad es que tratan de cosas que, de alguna manera, podemos imaginar.

Hemos hablado de piedras lanzadas al aire, lunas de Júpiter, velocidades, distancias, pequeñas partículas que se mueven dentro de los cables, estrellas, planetas, imanes y galaxias. Para hacerse una idea de todo ello, basta con cerrar los ojos e imaginar. Incluso podemos hacerlo manteniéndolos abiertos, porque no requiere una concentración especial.

¿Cómo es el universo que hemos conocido hasta aquí? Podríamos resumirlo en poco espacio. Todo lo que has aprendido desde que empezaste a leer este libro puede ocupar unas pocas líneas. Vivimos en la superficie de un planeta cuyas medidas conocemos desde nuestro lejano amigo Eratóstenes de Alejandría: una bola de aproximadamente cuarenta mil kilómetros de circunferencia que orbita en silencio alrededor de una estrella llamada Sol, situada a ciento cincuenta millones de kilómetros de casa. El Sol es tan grande que dentro de él cabrían un millón de planetas como el nuestro. Alrededor de esa gigantesca bola de fuego danzan en órbitas elípticas otros planetas, cuyos nombres nos son conocidos desde que éramos muy pequeños: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Todo ese conjunto de astros se conoce con el nombre de sistema solar y su movimiento puede entenderse perfectamente utilizando la ley de la gravitación universal descubierta por Isaac Newton, aquella hermosa ley que entendiste muy bien cuando lanzaste una piedra que dio la vuelta al mundo al principio de esta obra.

Gracias a los trabajos de grandes científicos que has conocido aquí, sabemos también que el Sol, junto con cientos de miles de estrellas similares a él, orbita alrededor del núcleo de una galaxia llamada Vía Láctea. Esta galaxia, la nuestra, no es la única que existe. A distancias inmensas encontramos otras, y cada una de ellas alberga a su vez otros cientos de miles de millones de estrellas más.

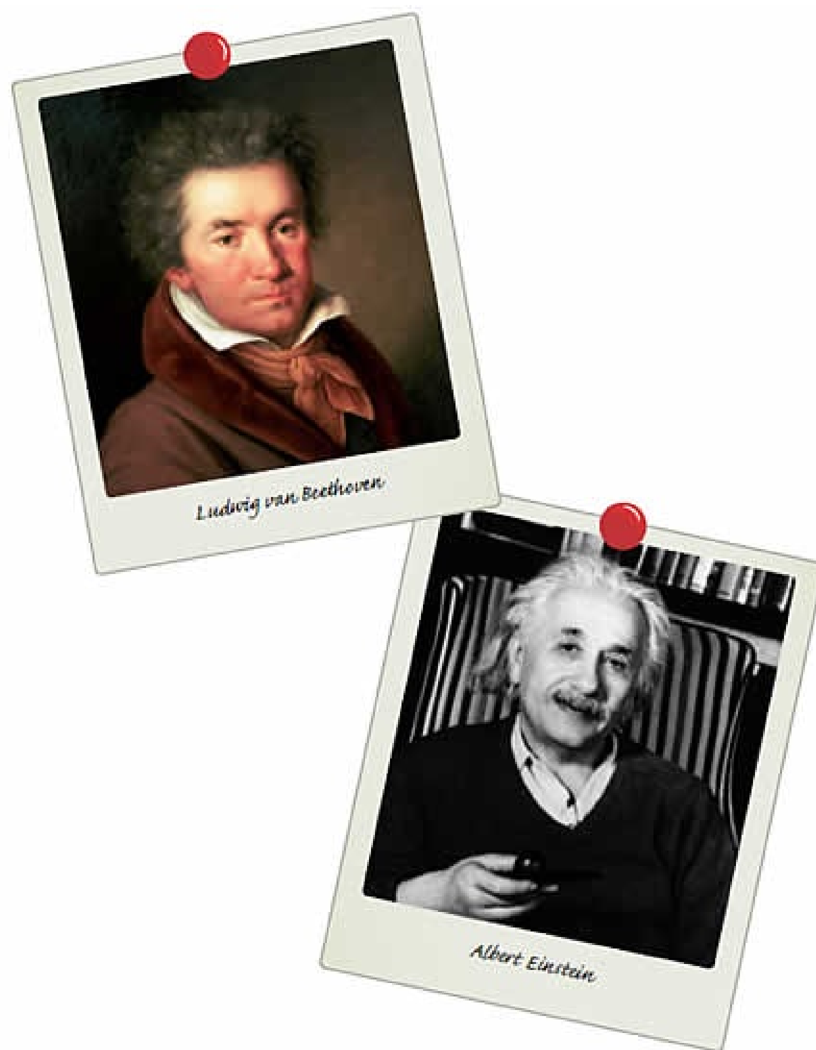
Al margen de la grandiosidad *hacia arriba*, también hemos descubierto otra, igual de apasionante, la que está *hacia abajo*, la de los átomos de Demócrito y los electrones de Thomson, cuyo movimiento produce electricidad cuando circulan dentro de un cable, y a veces magnetismo, como en el experimento que reproduje yo solo en mi casa aquel verano de hace un par de años. Y, por último, hemos sabido que la luz, esa entidad misteriosa que todo lo llena sin ser aparentemente nada, no es más que una onda electromagnética.

Puede parecer decepcionante comprobar que el trabajo intenso de tantos seres humanos geniales pueda resumirse en tan poco espacio, pero en realidad es algo esperanzador, porque demuestra que todavía podemos entender muchas cosas más, y todas serán resumibles en un par de páginas. Suele decirse que nada es interesante si no se puede explicar en pocas líneas. Por suerte, en ese sentido, nos queda todavía mucho por comprender.

El aroma de todo lo que hemos aprendido aquí tiene que ver, como antes te decía, con la comprensibilidad. En efecto, tú lo puedes entender y confío en que lo hayas hecho. Hasta yo mismo llegué a enterarme de todo esto cuando fui leyéndolo en cientos de libros distintos. Y si yo lo entendí, te aseguro que todo el mundo puede hacerlo. Hasta el final del siglo XIX, las cosas eran también así en la historia de la ciencia. Había dificultades para encajar ciertos fenómenos, pero por encima de todo ello existía una fe profunda en que en nuestro cerebro podía formarse una imagen clara del universo que nos rodea. Sin embargo, las cosas empezaron a cambiar poco a poco, y terminamos comprendiendo que tal vez no podamos entenderlo todo basándonos en el sentido común o en las imágenes gráficas. De repente se acabarían para siempre las piedras lanzadas al aire. El giro se produjo en varios lugares al mismo tiempo y fue protagonizado por distintos científicos, pero sería bueno comenzar por aquél al que yo, personalmente, le tengo más cariño. Ya te he dicho antes algo de él. Fue el hombre que demostró que existen los átomos estudiando el comportamiento de granos de polen flotando en el agua. Alguien capaz de hacer algo así debió de ser, sin duda, un tipo interesante.

La relatividad

Hay seres humanos a los que uno no puede dejar de admirar, personas cuya contribución al conocimiento es tan inmensa que llega a ser incluso ligeramente mareante. Es el caso de Albert Einstein. Cuanto más leas acerca de él, más te sorprenderá su talento, su profunda genialidad. Resulta muy útil para bajarse a uno mismo los humos cuando estúpidamente se tienen ataques vanidosos. Basta con que uno se compare con él para poner las cosas en su sitio. Einstein es el mejor *bajahumos* de la historia de la humanidad. Aparecía en la primera parte del libro, y lo hará también en esta segunda, de un modo más abundante. Y es que Einstein vincula los dos mundos de un modo extraordinario. Es como el Beethoven de la ciencia. Si el genio musical sirvió de puente entre el clasicismo y el romanticismo, Einstein estuvo tumbado conceptualmente entre el siglo XIX y el XX, entre el *universo comprensible* y el *extrañísimo universo* que ahora mismo vamos a empezar a conocer. Hemos visto cómo demostró la existencia de los átomos, con elegancia, poniendo tal vez con ello el punto y final a una historia de amor entre la realidad y la ingenuidad humana. Pero Einstein no pasó a la historia por ese punto final que empezó con Demócrito y terminó con él; Einstein fue quien fue por todo lo que escribió a partir de ese simbólico punto.



Algo no encaja

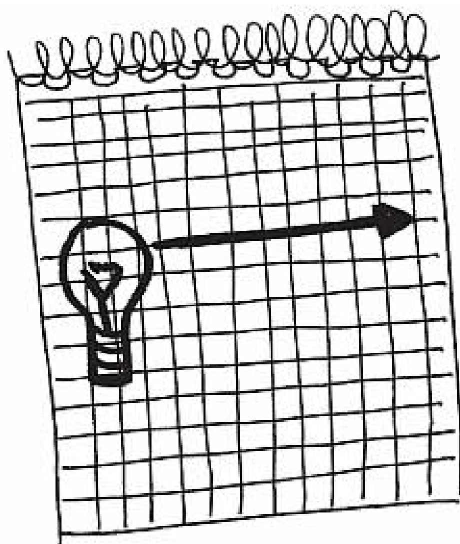
La idea de Maxwell de que la luz es una onda electromagnética resulta ser uno de los hallazgos más relevantes en la historia de la física. El propio Einstein afirmó que se trataba del descubrimiento más importante desde la época de Newton, pero tiene un pequeño problema. Las matemáticas decían que la velocidad de esa onda tenía que ser de 300.000 kilómetros por segundo, pero no especificaba respecto a qué. En un momento lo vas a entender.

Cuando eras pequeño e íbamos en tren, te gustaba moverte de un lado para otro. Te levantabas del asiento y caminabas mientras yo te perseguía para que dejaras de hacerlo. Vayamos a ese momento. El tren está en marcha y me da miedo que pierdas el equilibrio y te caigas al suelo. Dentro del tren, cuando caminas, te mueves a una velocidad muy pequeña; aproximadamente a unos dos kilómetros por hora, pero el tren también está moviéndose respecto a las vías. Para alguien que te mirara desde la calle, tu velocidad, en el caso de que te movieras en la misma dirección del tren, sería

el resultado de la suma de tus dos kilómetros por hora más la velocidad a la que circulara el tren, unos cien kilómetros por hora. Por tanto, en el interior del vagón te mueves a 2 km/h, pero respecto al exterior avanzas a 102 km/h. Esto es algo bastante sencillo de comprender.

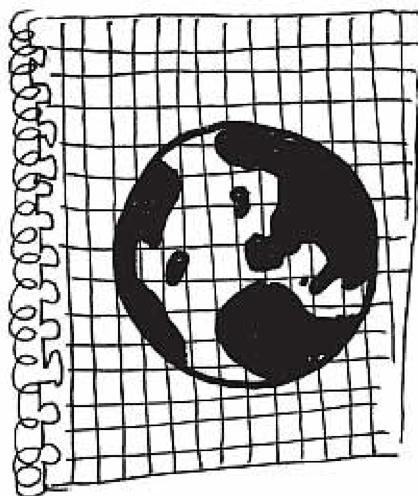
Los cálculos matemáticos que hizo Maxwell daban, para la luz, el resultado de 300.000 kilómetros por segundo, y ésa era la cifra que siempre salía. Era un número que, por definición, no podía cambiar. No era una medición, como en el caso de Olaus Roemer, sino el resultado de una operación matemática cuyo número invariablemente tenía que ser el mismo.

Cuando Maxwell aceptó la idea de Descartes de un éter que todo lo llena, consiguió responder, como ya has visto, a la pregunta de cuál era el medio que vibraba para generar las ondas de luz. Eso significa que, los 300.000 kilómetros que recorre la luz en un segundo, eran en relación al éter. Ocurría, por tanto, algo así:



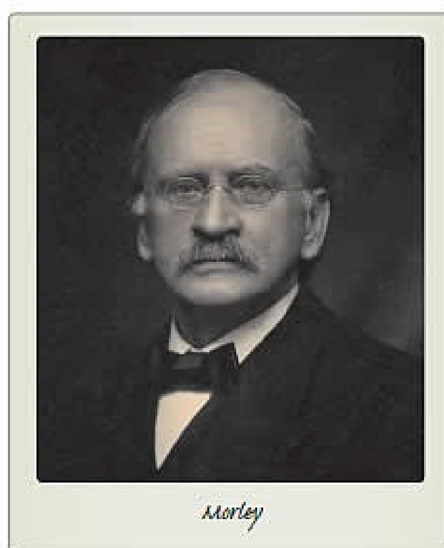
Verás que en el dibujo he incluido unas cuadrículas. Como es obvio, nadie pensaba que existieran en realidad unas rayas en el espacio, pero sirven como referencia para imaginar que lo que vemos allí es el éter estático.

El éter, por tanto, estaría quieto en el universo, el espacio estaría en reposo, y sobre él la luz viajaría a la velocidad que ya conocemos. Esto provoca que nos formulemos de inmediato una pregunta: ¿a qué velocidad se mueve la Tierra respecto al éter? Es una cuestión excelente, y supuso el origen de la mayor revolución intelectual de la historia de la humanidad, porque de su respuesta dependía absolutamente todo. De hecho, la teoría de la relatividad, de la que ahora vamos a hablar, surge de la respuesta que se le dio a esa inquietante pregunta.



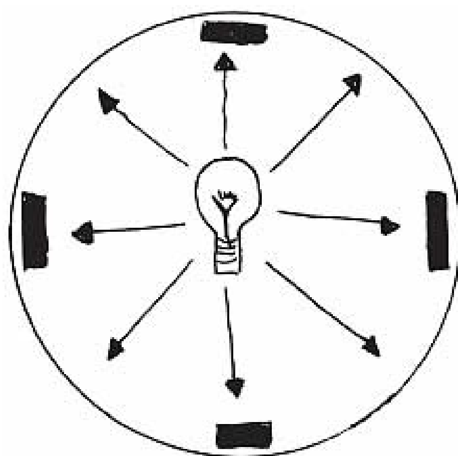
Ahí tenemos a nuestro planeta. Sabemos que se mueve alrededor del Sol. Pero ése no es su único movimiento. El Sol, como ya sabes, también se mueve alrededor del núcleo de la galaxia de la Vía Láctea, y ella, con sus miles de millones de estrellas a cuestas, también se mueve por el espacio.


Michelson


Morley

Un poco antes de terminar el siglo XIX, dos tipos tremendamente listos, llamados Michelson y Morley, decidieron calcular a qué velocidad se desplaza nuestro planeta respecto al misterioso éter. Querían saber cómo de rápido se movía la Tierra respecto al espacio vacío.

Estos dos caballeros tuvieron una idea extraordinaria para obtener el resultado. Simplificándolo un poco, te lo puedo explicar del siguiente modo. Imagina que colocamos una bombilla en el centro de un círculo. Y ponemos detectores de rayos de luz arriba, abajo, a la derecha y a la izquierda.



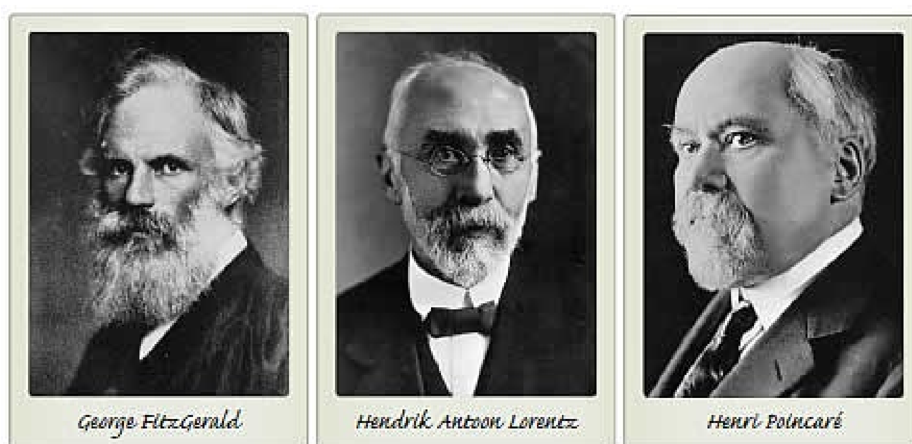
Ésta es una versión sencilla del experimento, que fue algo más complicado, pero servirá para que te hagas una idea. Se enciende la bombilla y la luz va hacia todas direcciones. Por tanto, llega hasta los cuatro detectores de rayos. Sabiendo en qué momento se ha encendido la bombilla y en qué instante ha llegado a cada uno de los detectores, podemos calcular sin demasiado esfuerzo cuál es la velocidad de la luz en cada una de esas direcciones.

Los dos investigadores que idearon el experimento suponían que estas velocidades no serían las mismas en las cuatro direcciones. Como la Tierra se mueve, habría momentos en los que la luz viajaría en la misma dirección que ésta, sumando su velocidad a la de nuestro planeta, como tú cuando caminabas dentro del vagón y había que sumar tu velocidad a la del tren. En otras ocasiones, la velocidad tendría que ser inferior, porque la luz viajaría en dirección contraria al movimiento de la Tierra y entonces deberíamos efectuar una resta.

Michelson y Morley estaban contentos porque imaginaban que después de realizar el experimento sabrían, sin ningún género de dudas y por primera vez en la historia, a qué velocidad se mueve nuestro precioso planeta verde y azul.

Pero sufrieron un tremendo desengaño. La velocidad de la luz era la misma en todas direcciones. El movimiento de la Tierra parecía no afectar para nada a los rayos luminosos. Aquello no tenía ningún sentido. Para que el resultado de su experimento fuera lógico, nuestro planeta tendría que estar parado, y desde Copérnico era evidente que no lo estaba. ¿Cuál podría ser la explicación?

Se cuenta que, cuando se divulgó el resultado del experimento, algunos defensores bíblicos del geocentrismo empezaron a aplaudir entusiasmados. Pensaron que por fin se había demostrado que la revolución copernicana fue una tremenda tontería, y que la Tierra estaba firmemente atornillada en el fabuloso centro del cosmos. Pero, como es evidente, estaban equivocados.



Los tres científicos que aparecen fotografiados en la página anterior no son demasiado conocidos a nivel popular, pero considero que sus rostros deberían aparecer en los pósteres de las habitaciones de media humanidad. Sus nombres son, de izquierda a derecha, George FitzGerald, Hendrik Antoon Lorentz y Henri Poincaré. Entre los físicos son muy apreciados y respetados, pero creo que, si preguntáramos a la gente quiénes son mediante una encuesta, probablemente nadie podría decirnos nada acerca de ellos. Sin embargo, este trío de talentos sembró las bases para que el genial Albert Einstein desarrollara su teoría de la relatividad.

El físico irlandés George FitzGerald, junto con el holandés Hendrik Antoon Lorentz, idearon por separado una solución que tal vez te parezca un poco chapucera con el fin de entender el rarísimo resultado del experimento de Michelson y Morley. Sin embargo, como verás, tiene la virtud de explicar el fenómeno a la perfección. Afirmaron que la razón de que no se detectara el movimiento de la Tierra era que el aparato de Michelson y Morley se encogía en la dirección del movimiento. Se hacía un poco más pequeñito al moverse. No solamente ese aparato, claro está, sino todos los objetos que se desplazaban. Por el mero hecho de estar en movimiento, todas las cosas se contraían, se estrechaban. Cuanto más rápido iban, más cortas se hacían. Eso explicaría que el medidor de la velocidad de la luz instalado en nuestro experimento no percibiera el cambio, porque su reducción de tamaño compensaba exactamente la diferencia de velocidad de nuestro planeta respecto al éter.

Una de las consecuencias de la fórmula de FitzGerald y Lorentz era que todo tenía un límite. Al disminuir el tamaño de los cuerpos al ir cada vez más rápidos, ocurriría algo insólito cuando llegasen a la velocidad de la luz: acabarían midiendo exactamente cero. Cuanto más rápido, más se contraían y, al llegar a 300.000 kilómetros por segundo, se hacían tan pequeños que desaparecían. Como ningún cuerpo puede medir cero, la hipótesis de estos dos físicos incluía una prohibición: ningún objeto puede viajar más rápido que la luz.

Este razonamiento no satisfizo a todo el mundo, como era de esperar. Era una especie de parche, algo que parecía ideado a posteriori para que todo encajara. ¿Por qué tenían que hacerse pequeños los objetos en movimiento? El arreglo era feo, nacido de la necesidad, como una de esas medidas de última hora que se sacan de la manga

los políticos para solucionar las crisis. De todas formas, y aunque te cueste creerlo, esta explicación, conocida como *contracción Lorentz-FitzGerald*, resultó ser totalmente cierta, como verás más adelante.

Antes de continuar, me gustaría que pensaras un momento en la idea de que la luz siempre va a la misma velocidad, la midas desde donde la midas. Tiene un aspecto hermoso, algo que, de alguna manera, le da sentido al mundo al convertirlo en más sencillo. Puede parecerte una contradicción, pero creo que lo entenderás si recordamos un momento a Galileo.

Al hablarte de Copérnico, te conté que Galileo ideó un experimento mental para apoyar la teoría de que la Tierra gira alrededor del Sol. Ante las críticas de los detractores que aseguraban que «si esto se moviera, lo notaríamos porque nos tambalearíamos», el genio italiano se imaginó aquel barco que navegaba uniformemente. Titulé aquella parte del libro «Un barco casi einsteniano», a sabiendas de que en aquel momento no lo ibas a entender, pero ahora ya estás en disposición de hacerlo.

¿Qué pasaba en aquel barco? Dentro de un camarote seguían siendo válidas las leyes de la física y no había forma de dilucidar si el barco estaba quieto o en movimiento. Ese principio de relatividad de Galileo ahora podía ampliarse un poco más, puesto que, si la velocidad de la luz también es la misma independientemente de si estás parado o en movimiento, ya no hay ningún experimento que podamos hacer para averiguar si estamos quietos o en marcha. La persona que propuso esta relatividad moderna que incluía la luz fue el matemático francés Henri Poincaré.

Sólo faltaba una pista más para que Einstein cogiera todo ese material y revolucionara el mundo. Este último indicio nos lo regaló también Lorentz, y es realmente espectacular. Tal vez te suene, porque se ha hablado mucho acerca de él, aunque la mayoría de la gente lo atribuya por error a Albert Einstein.

Vamos a hacer ahora un experimento mental para entenderlo. Para ello, sólo hemos de imaginar una carretilla, una mosca y una caca de vaca. Sé que no es muy académico, pero te aseguro que va a funcionar perfectamente.

Imagina que tú estás tirando de una carretilla. No será difícil para ti después de haber hecho otras proezas. En el extremo derecho depositamos un excremento de vaca y colocamos a la izquierda una mosca. En este momento, tú empiezas a caminar tirando de la carretilla.

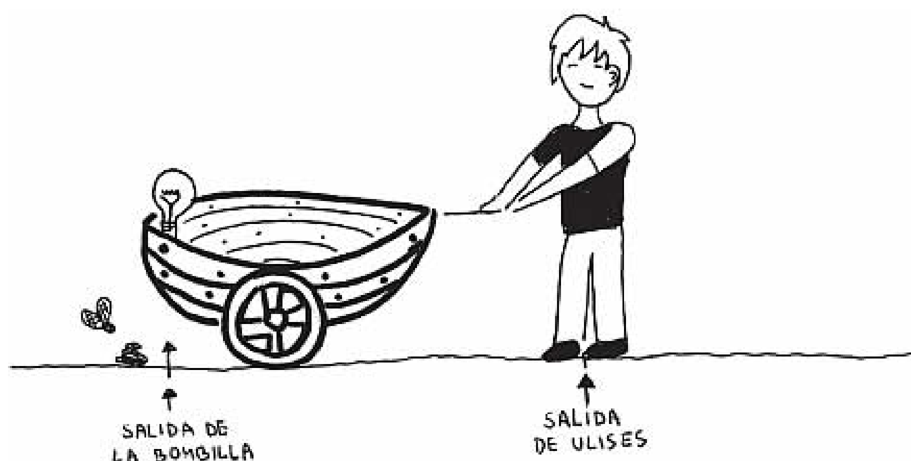
Supongamos que, cuando inicias tu paseo, la mosca vuela hacia la caca a una velocidad de un metro por segundo respecto a la carretilla. Es decir: el insecto recorre un metro de carretilla cada segundo que marca tu reloj. Hasta aquí, todo perfecto.

Ahora vamos a imaginar que tu velocidad respecto al suelo es también de un metro por segundo. En ese caso, la mosca, vista desde el camino, viaja a una velocidad de dos metros por segundo, el resultado de sumar su velocidad a la velocidad con la que tú mueves la carretilla.



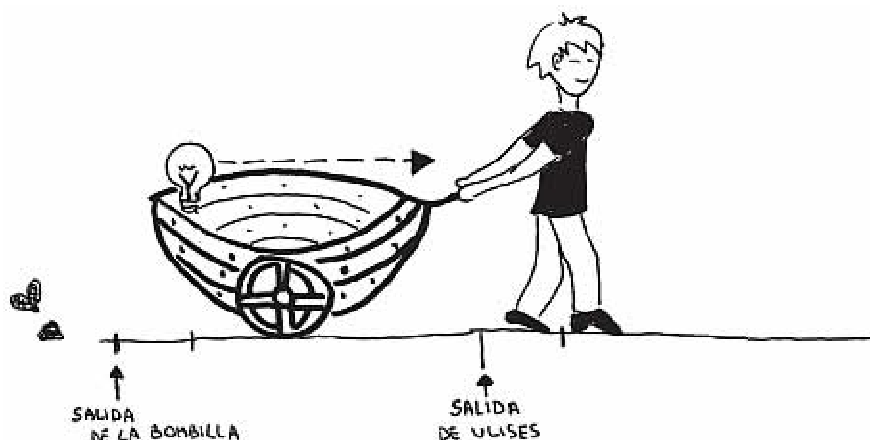
La suma de velocidades resulta muy fácil de entender si las visualizamos en el siguiente dibujo. La mosca salió de la posición A y ha terminado en la posición B. Ha transcurrido un segundo, tiempo durante el cual ha podido alcanzar su adorado excremento. La carretilla mide un metro, pero como consecuencia de su desplazamiento, para un observador en el camino, ha recorrido dos metros en el mismo tiempo. Por tanto, confirmamos que vuela a dos metros por segundo.

Ahora dejamos volar libremente a la mosca y limpiamos de caca la carretilla. En el lugar donde estaba el insecto colocamos una bombilla. De momento está apagada, mientras tú descansas.



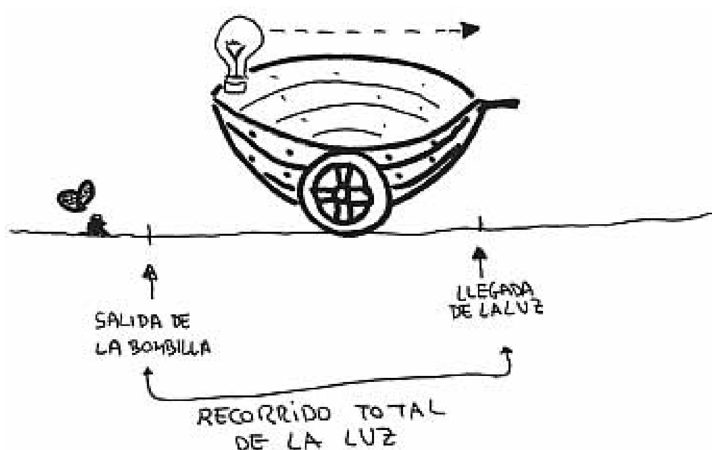
Justo cuando comienzas a caminar, se enciende la bombilla. Imagina que vuelves a tener los superpoderes de los que gozabas al inicio de este libro y que eres capaz de caminar a una velocidad de 100.000 kilómetros por segundo, la tercera parte de la velocidad de la luz.

Te pones en marcha. La luz de la bombilla empieza a viajar hacia delante. En millonésimas de segundo alcanza la parte delantera de la carretilla. Tú también has avanzado mucho. Como tu velocidad es la tercera parte de la de la luz, has conseguido caminar un tercio de lo que mide la carretilla, puesto que has hecho, en el mismo tiempo, la tercera parte del recorrido que ha efectuado la luz. Congelemos la imagen en ese punto y veremos lo siguiente.



Fíjate que la luz, desde el punto de vista de la carretilla, ha viajado a 300.000 kilómetros por segundo. Si hubiéramos colocado dentro de la carretilla un aparato para medir velocidades, ése es el valor que habría obtenido para el rayo de luz de la linterna.

Ahora míralo desde el punto de vista del camino. En ese mismo tiempo, la luz ha recorrido una mayor distancia: lo que mide la carretilla más lo que tú te has desplazado en ese tiempo.



Concéntrate en lo que eso significa. La luz recorre dentro de la carretilla una distancia determinada, y fuera, en el camino, hace un trayecto mayor. Eso significaría que, si colocáramos un aparato para medir velocidades en el camino, obtendríamos una velocidad de la luz superior a la del interior de la carretilla.

Pero eso es justamente lo que Michelson y Morley demostraron que no podía ocurrir. Sabemos, gracias a su experimento, que un señor que estuviera en el camino, si quisiera medir la velocidad de la luz, obtendría la misma cifra: 300.000 kilómetros por segundo. Si el mundo fuera como nos dicta el sentido común, esa velocidad tendría que ser de 400.000 kilómetros por segundo; la cifra resultante de sumar los 300.000 de la luz a los 100.000 de la carretilla respecto al exterior.

Entonces, ¿qué ocurre?

La única explicación posible, aunque resulte sorprendente, es ésta:

El tiempo transcurre más lentamente en el interior de la carretilla.

Sé que te parecerá insólito, pero verás que es la única explicación razonable. No es que la luz viaje *más rápido* en el camino; lo que pasa, sencillamente, es que en ese camino ha transcurrido *más tiempo* y la luz, por tanto, ha podido recorrer una distancia mayor.

En efecto, eso es lo que ocurre. El tiempo cambia en el interior de los objetos en movimiento. Cuanto más rápido van, más pronunciado es el cambio.

Es probable que estés pensando que esto no es más que un truco de lógica. Creerás que la alteración temporal no puede ocurrir en la realidad porque el tiempo es siempre el mismo, y que el hecho de que estemos en movimiento no implica que nuestros relojes transcurran más lentamente, pero te garantizo que eso es exactamente lo que sucede.

A las velocidades a las que nos movemos estas alteraciones temporales no se notan. Tendrías que desplazarte a mucha velocidad, como en el ejemplo de la carretilla, para poder sentir esas variaciones. A velocidades próximas a la de la luz, la marcha de los relojes se ve muy afectada. Si estuvieras viajando en una nave espacial a una velocidad cercana a la de la luz, envejecerías más lentamente. No es ciencia ficción, sino un principio fundamental de la física, una ley de la naturaleza.

Una confirmación de la dilatación temporal

Este cambio en el paso del tiempo ha podido confirmarse en un experimento. Vuelve a pensar en los electrones, aquellos que descubrió Thomson y que circulan por el interior de los cables cuando enchufamos el secador de pelo. Pues bien, hay una partícula llamada *muón* que viene a ser como un primo gordo del electrón. Es como él, pero más pesado, con más masa. Esta partícula tiene una característica especial: dura muy poco tiempo, apenas millonésimas de segundo.

Siento que hayas tenido que enterarte así, de golpe, de la existencia de otra partícula además del protón, el neutrón y el electrón. De todas formas, no te asustes. En las próximas páginas verás cómo esas partículas fundamentales empiezan a multiplicarse como animalitos en celo.

Pero volvamos al muón. Se pensó que si esta partícula elemental se aceleraba a muchísima velocidad, podría confirmarse la hipótesis de la contracción temporal. Los muones, que vivían tan poco tiempo, al ser acelerados durarían más, porque para ellos el tiempo transcurriría más despacio. Los físicos realizaron este experimento y confirmaron que, en efecto, el «tiempo de vida» de estas partículas aumentaba. Lorentz tenía razón, no le des más vueltas.

Por norma general, estas ideas se atribuyen a Albert Einstein, y suele pensarse equivocadamente que constituyen la teoría de la relatividad. Eso ha llevado a algunas personas a restar importancia al trabajo de Einstein, algo que supone una profunda

injusticia, porque Einstein llegó a las mismas conclusiones por otra vía distinta, y además superándolas de un modo radicalmente profundo. Mucha gente suele pensar que todo se produjo como si se tratara de un partido de fútbol imaginario en el que Lorentz, FitzGerald, Poincaré y el mismísimo Einstein fueran cuatro jugadores sobre un terreno de juego: Lorentz le pasa el balón a FitzGerald, éste regatea y le envía el balón a Poincaré. Poincaré cabecea y dirige la pelota a un joven futbolista llamado Albert Einstein. Y Einstein, con ese balón, realiza la jugada más inteligente, emocionante, hermosa y genial de toda la historia de la física, marcando el gol más impactante de cuantos puedan imaginarse.

Pero esta analogía es rotundamente falsa, porque Einstein jamás jugó ese partido. Él iba por su cuenta. Ahora mismo lo entenderás.

La realidad tiene una herida

En 1905, el mismo año en el que demostró la existencia de los átomos, Einstein se dijo a sí mismo que no pararía hasta demostrar que la velocidad de la luz *tenía que ser la misma* se midiera como se midiese. Fíjate bien en la diferencia respecto a Poincaré, Lorentz y FitzGerald. Ellos querían entender *por qué era la misma*, mientras que Einstein quería demostrar que no podía ser de otro modo. Para aquellos tres, el hecho de que la luz se comportara así era un inconveniente, algo que echaba por tierra la existencia del éter, pero para Einstein era el punto de partida.

En realidad, nuestro genio empezó a pensar en estos asuntos a raíz de los descubrimientos de Faraday, efectuados, como ahora sabes, bastante tiempo antes. Recordarás que un imán que se movía dentro de un cable generaba una corriente eléctrica. Esa misma corriente se producía igualmente si el imán estaba fijo y era el cable el que se movía. Puede parecer una tontería, algo de sentido común, pero esa igualdad en el resultado tiene unas profundas consecuencias.

El imán está fijo y el cable se mueve. Eso produce electricidad en el interior del cable. Muy bien; ahora cambiemos la perspectiva. El imán se mueve y el cable está fijo. También genera electricidad y de manera idéntica. Eso hizo que Einstein tuviera la cabeza ocupada durante varios días. Para el cable, daba igual que se moviera él o que se moviera el imán. Aquí hay un principio de *relatividad* en los movimientos. Es como si la naturaleza dijera: «Mira, a mí me da exactamente igual lo que se mueva. Siempre y cuando los movimientos relativos sean los mismos, yo me comportaré igual.» Esto puede traducirse del siguiente modo: «En todo objeto con movimiento uniforme, se producen los mismos efectos que se generarían si éste estuviera parado.»

Einstein se dio cuenta de algo en apariencia contradictorio si se pensaba en este hecho con la intensidad necesaria. Si en el interior de todos los objetos que se mueven operan las mismas leyes de la naturaleza que encontramos en los cuerpos que están en reposo, la contradicción estaba servida. Un avión que está volando se contrae respecto a uno que está en reposo en el aeropuerto. Perfecto. Pero el avión volador puede

imaginar que es él quien está parado y que el que se mueve debajo de él es el que está en el suelo. De esta manera, está legitimado a pensar que quien se contrae no es él, sino el avión del aeropuerto.

Ésta es una de las consecuencias extrañas de aceptar que no hay forma de distinguir si un cuerpo está en movimiento o en reposo. ¿Cómo entender algo así de confuso? ¿Cómo es posible que sea verdad, a la vez, que un avión esté contraído y que no lo esté? ¿Cuál es la razón de que las características físicas de los objetos dependan de quien las esté mirando?

Cuando Einstein pensaba en esta contradicción, era un joven de veintiséis años que tenía una fuerza intelectual fuera de lo común. No aceptaba nada por el simple hecho de que alguien le hubiera dicho que debía aceptarlo. Pero al mismo tiempo era humilde ante los hechos, ¿qué significa eso?

Creo que sería bueno que hiciéramos un pequeño paréntesis en el que te hablaré del amor.

Love Story

Mira esta pareja de enamorados. Se quieren un montón. Pensarás que me he vuelto loco. Estaba hablándote de Einstein y de la luz y de repente voy y te digo que quiero hablarte del amor. Tranquilo, sé lo que hago. En seguida verás el motivo que me ha llevado a hacer esta pequeñísima pausa.



Cuando seas mayor te darás cuenta de algo que parece formar parte de nuestra naturaleza. Las personas se enamoran, se gustan mucho y una fuerza superior a ellas les hace desear pasar juntos muchísimo tiempo. A ti también te pasará, ya lo verás.

Cuando esto ocurre, se produce una fase magnífica, en la que incluso las rarezas de la otra persona nos gustan, pero transcurrido un tiempo todos queremos cambiar a la persona de la que estamos enamorados para que deje de ser rara. Queremos normalizarla, y ella también quiere hacerlo con nosotros. Eso supone, casi irremediablemente, que se produzca el final del amor. Cerramos paréntesis.

De vuelta a Einstein

¿Qué he pretendido explicarte con todo esto del amor y las rarezas y nuestra tendencia obsesiva a normalizar a las personas? Verás: Einstein también amaba la naturaleza, estaba enamorado de las leyes de la física y, si hubiera sido como la mayoría de los amantes, habría querido cambiar la naturaleza cuando vio que ésta se comportaba de un modo extraño. Faraday había demostrado que a la naturaleza le daba igual que fuera un imán el que se moviera o que fuera una corriente eléctrica, porque sus movimientos eran relativos. A pesar de las contradicciones que eso conllevaba, el mérito de Einstein fue seguir amando la realidad, aun sabiendo que era profundamente extraña. No quiso cambiarla, sino entenderla tal como era.

Si la naturaleza era rara, la querría igual siendo rara, pero no intentaría hacer piruetas matemáticas para que se volviera normalita. Era extraña y así había que aceptarla. Y lo hizo. Y ese amor desinteresado a la naturaleza provocó la mayor revolución registrada en la historia de la ciencia.

Einstein recordó en más de una ocasión el momento en el que tuvo la idea que cambió el mundo. Solía pasear y pensar con su amigo Michele Besso, un ingeniero amable al que había conocido hacía años y que trabajaba con él en la oficina de patentes de Berna. Un día, al llegar a su cita para el paseo, ni siquiera saludó a Besso. Simplemente Einstein le dijo: «¡¡Gracias!! Ya lo tengo.» Ese agradecimiento demuestra una gran generosidad por parte de nuestro genio. Incluso en el manuscrito de la relatividad le da las gracias a Michele Besso por algunas ideas que le ayudaron a concebir su célebre teoría.

Como sabes, soy un hombre de palabra. ¿Recuerdas que muchas páginas atrás te dije que acabaría respondiendo a la pregunta de por qué arde el Sol? Pues gracias a la carretilla, la mosca y la caca de la vaca estás a punto de obtener esa respuesta. Comprendo que ahora mismo estés bastante despistado y que no veas en absoluto la relación entre ambas cosas, pero ten un poquito más de paciencia, porque la extrañeza de los rayos del Sol y de las estrellas, el misterio de ese poderoso y lejano fuego, está a punto de ser descubierto. Sólo nos falta aprender algo acerca del espacio y el tiempo.

Tenemos un extraño universo en el que las cosas dependen del punto de vista del observador. Algo que para una persona mide diez metros, puede medir solamente cinco si quien lo mira es alguien que pasa a toda velocidad. Y cinco minutos de una señora pueden ser diez para un caballero que está viendo cómo ella se desplaza en un cohete espacial. Sin duda, esta idea de que los relojes no pueden marcar una hora

universal y que el tamaño de las cosas depende de la velocidad que lleva el vehículo de quien las mira puede resultarte un poco antipática. Las cosas son cosas y han de serlo independientemente de cualquier consideración. El mundo no puede estar tan loco. Ha de existir un patrón fijo, algo a lo que agarrarnos. La contracción de distancias y tiempos tiene un punto encantador, por supuesto, pero provoca que la realidad se deshaga y no tengamos nada firme que señalar como realmente verdadero.

Pero tranquilo, porque no es así. Eso sólo ocurre cuando no entendemos del todo las cosas. Einstein nos dio ese algo a lo que agarrarnos, una descripción de la realidad que provoca que podamos sujetarnos con firmeza sin tambalearnos, una idea que nos dice que, a pesar de todo, hay cosas que sí *son como son*. Para entenderlo, el genio introdujo un concepto magnífico: espacio-tiempo. Cada una de estas palabras, *espacio* y *tiempo*, por separado, nos resultan perfectamente familiares. Todos creemos saber lo que es el espacio y también tenemos una idea, aunque difusa, de lo que es el tiempo. La suma de espacio y tiempo para formar el espacio-tiempo puede resultar algo insólito y complicado, pero funciona bastante bien y explica a la perfección nuestro insólito mundo. Según Einstein, vivimos en una especie de volumen de cuatro dimensiones. No te asustes. Todo tiene su explicación. Las películas que ves por televisión son reproducidas en dos dimensiones, la dimensión «ancho» y la dimensión «largo» de la pantalla. Eso convierte las imágenes en copias un poco reducidas de la realidad. El mundo no es plano como las escenas de las películas. Tenemos también relieve, grosor. Cuando tú miras el mundo, Ulises, además del largo y el ancho de las pantallas, también ves otra tercera dimensión: la profundidad. Largo, ancho, y profundo. Tres dimensiones. Ahora, según Einstein, debemos añadir una nueva dimensión más: el tiempo. Con esto, conseguiremos que el universo tenga cuatro dimensiones. A esto es a lo que llamamos espacio-tiempo, la suma de las tres dimensiones habituales más una cuarta dimensión temporal, pero las cuatro quedan perfectamente unidas. El tiempo lo podemos notar, percibimos cómo pasa, pero no lo podemos ver tal como hacemos con el ancho, el largo y el grosor.

Y, ahora, relájate y mira qué foto más bonita te pongo aquí.



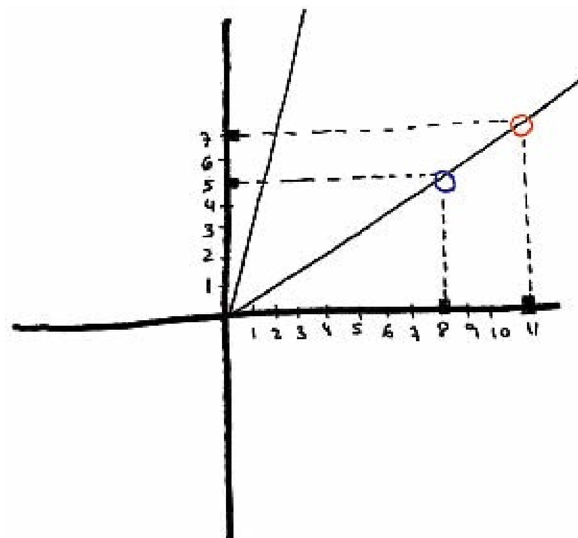
Tal vez los reconocerás. Están cerca de casa, en el campo que hay detrás. Muchas veces me has preguntado si el árbol de la derecha se va a caer. Quedan bonitos cuando les da la luz. Las hojas son tan sencillas que consiguen mostrar la belleza del mundo sin demasiada ostentación. Beethoven decía que ni la pintura, ni la música, ni la escultura, ni ninguna de las manifestaciones artísticas producidas por el ser humano eran tan hermosas como las hojas de los árboles cuando son iluminadas desde arriba. En cierto modo, tenía razón. Míralos bien, porque es posible que estos dos altísimos seres vivos terminen dándote la clave del «espacio-tiempo», la principal y extrañísima idea del joven Einstein.

El tamaño de ambos árboles es idéntico, pero el de la izquierda parece más alto porque ha crecido perfectamente derecho. Nosotros nos damos cuenta de eso. Nuestro cerebro está capacitado para corregir la inclinación y saber que la altura del árbol de la derecha es igual que el de la izquierda. Pero el árbol de la izquierda no tiene esa suerte, porque desde su posición no puede ver la inclinación de su compañero. Desde su punto de vista, su vecino es más pequeño.

Ahora mira el árbol de la derecha. Para adentrarnos en su punto de vista, hemos de inclinar ligeramente la fotografía, puesto que él está a su vez inclinado.



Aquí vemos que las cosas son completamente distintas. Ahora es el árbol de la derecha el que ve más pequeño al de la izquierda. Ambos árboles piensan que son más grandes que su vecino, lo que parece una contradicción lógica, pero que puede entenderse gracias a haber girado ligeramente la foto. Ahora observa esta gráfica de coordenadas. Seguro que estás acostumbrado a verlas en el colegio. Descartes, el tipo que habló de la posibilidad de que todo fuera un sueño y volvió a instaurar la idea del éter, fue también quien introdujo estos rarísimos esquemas que suelen llenarse de puntos y líneas. Entiendo que tengan una apariencia aburrida, y por ese motivo sólo las vamos a utilizar un momento. En seguida las cambiaremos por otra cosa infinitamente más emocionante.

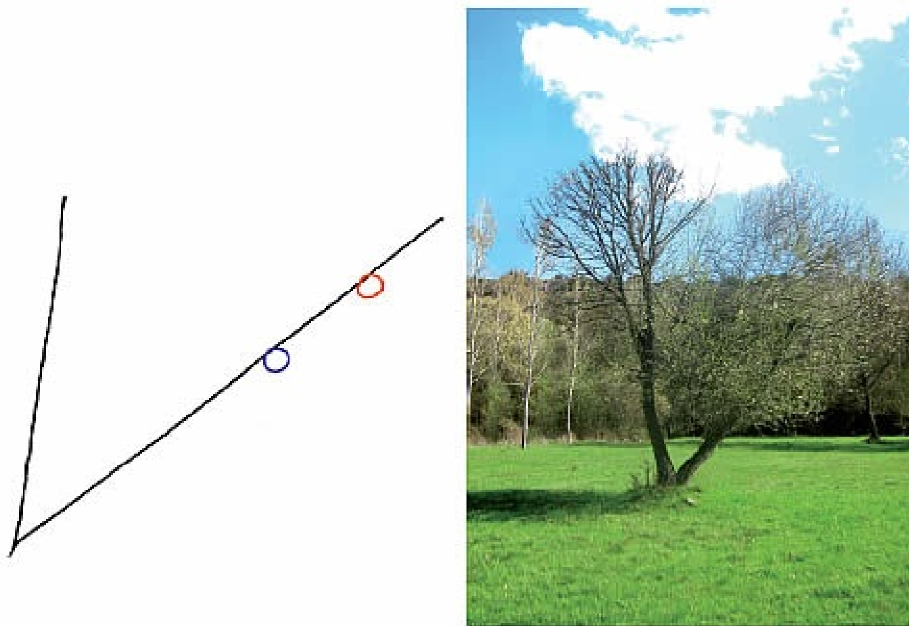


La línea vertical mide una magnitud y la horizontal nos da razón de otra. Supongamos que la horizontal simboliza el espacio y la vertical, el tiempo. Cada uno de los puntitos de esas líneas representa posiciones en el espacio. Por ejemplo, el punto azul expresa que en el minuto 5 tu carretilla está situada en el kilómetro 8, y el punto rojo nos dice que en el minuto 7 se encuentra en el kilómetro 11. La otra línea de puntos también representa la trayectoria de otra carretilla que podría arrastrar un amigo tuyo y que se mueve a distinta velocidad.

Según la teoría de la relatividad, un reloj dentro de tu carretilla medirá un tiempo que será distinto a otro situado en la carretilla de tu amigo.

Fíjate ahora en la forma que describen las dos líneas, olvidándote de la gráfica. ¿No te recuerdan nada? Te daré una pista.

Son como esos dos árboles del campo. Forman una V. Uno de los árboles ve al otro en función de su posición. La trayectoria de una carretilla (representada por un palo de la V) ve también a la otra en función de su propia posición en la gráfica. Pero existe el árbol en sí mismo. Y existe el recorrido de las carretillas en *sí mismo*. Las líneas y los árboles son reales; miden lo que miden, son invariables.



En la gráfica, he colocado puntos en algo que podría reproducir el «espacio-tiempo». Aquí es una superficie lisa que mezcla el espacio con el tiempo. Las líneas dibujadas son, por tanto, formas en el espacio-tiempo, y están hechas de la suma de todas las posiciones en las que han estado las carretillas. ¿Y si ésa fuera la explicación?

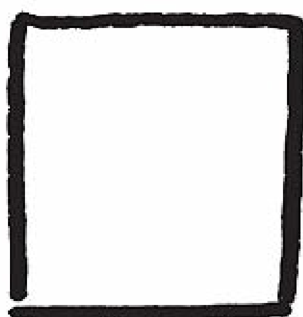
Cada árbol de esta gráfica ve a su árbol vecino en función de su posición en el espacio-tiempo. Einstein llegó a la conclusión siguiente: a pesar de la relatividad de los tamaños y del paso del tiempo, hay algo universal y fijo, algo estable e invariante, y ese algo es la suma, son los sucesos en el espacio-tiempo.

Los árboles son como los aviones del ejemplo que te puse antes, ¿recuerdas? Cada uno de ellos pensaba que era el otro el que se contraía. Aquello nos parecía algo raro porque todavía no habíamos abordado el asunto desde la perspectiva de la cuarta dimensión. Cada avión pensaba del otro que estaba contraído. Cada árbol pensaba que el otro era más pequeño. Ahora vemos que no hay contradicción en esas mutuas acusaciones de pequeñez.

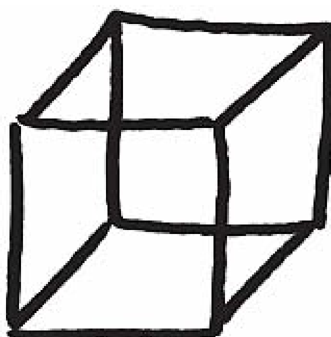
El concepto de espacio-tiempo tiene la ventaja de explicar cuál es el trasfondo de la realidad. Debajo de las apariencias se encuentra un volumen de cuatro dimensiones en el que las cosas tienen un lugar, una posición. Pero, por mucho que lo intentemos, nos es imposible visualizar las cuatro dimensiones juntas. Vivimos en un espacio tridimensional y nuestro cerebro ha evolucionado para movernos y sobrevivir en él. Nunca nos fue necesario captar la imagen de la cuarta dimensión para gozar de la vida. Ése es el motivo por el que no podemos apreciar las trayectorias reales de los cuerpos en movimiento, la suma de los puntos que representan todas las posiciones en las que han estado. Pero el universo es así, aunque no podamos imaginarlo. El espacio y el tiempo se fusionan y forman un tejido nuevo, tan real como el espacio que vemos a nuestro alrededor.

Es importante que tengas claro que todo esto no es ciencia ficción. Cuando Einstein dice que vivimos en un espacio-tiempo de cuatro dimensiones quiere decir exactamente eso. Igual que los personajes planos de las películas no pueden salir de la pantalla y vivir en tu mundo de tres dimensiones, tú tampoco puedes «saltar» a la cuarta dimensión, pero ésta existe para ti, igual que la tercera dimensión existe para los tipos de las películas planas.

Una de las ventajas de la ciencia es que es capaz de tratar con asuntos a pesar de que no puedan ser visualizados. Gracias a las matemáticas elementales podemos saber cosas sobre el espacio-tiempo. Empecemos con dos dimensiones.



Ésta es una figura de dos dimensiones. Un simple cuadrado. Su superficie se obtiene multiplicando por sí mismo lo que mide un lado. Esto se expresa matemáticamente así: l^2 (lado al cuadrado). Si por ejemplo ese lado mide 9 metros, la superficie son 81 metros cuadrados.



La versión tridimensional del cuadrado es el cubo. En el fondo, no es más que un cuadrado de dos dimensiones proyectado hacia arriba, hacia la tercera dimensión. El volumen de un cubo se obtiene multiplicando lo que mide el lado por sí mismo y por sí mismo. Es decir: l^3, lo que se llama, por razones obvias, *lado al cubo*.

Siguiendo este razonamiento, estás en condiciones de deducir cuál es el hipervolumen de un cubo de cuatro dimensiones.

En dos dimensiones	$l \cdot l = l^2$
En tres dimensiones	$l \cdot l \cdot l = l^3$
En cuatro dimensiones...	

No es difícil terminar esta sencilla serie. Seguro que has dado con la solución correcta. En efecto, $l \cdot l \cdot l \cdot l = l^4$. Aunque no podamos imaginarlo, porque nuestro cerebro es de tres dimensiones, podemos decir, sin miedo a equivocarnos, que el hipervolumen de un cubo de cuatro dimensiones (también llamado *hipercubo*) se obtendría así: $l \cdot l \cdot l \cdot l$, es decir, lado elevado a cuatro.

¿Te das cuenta? Acabas de deducir una fórmula del hiperespacio. Dentro de ese volumen de cuatro dimensiones del hipercubo vivimos nosotros. Vivimos, hemos vivido y viviremos, puesto que no es un volumen puramente espacial, sino espacio-temporal.

De esta manera, Einstein explicó el motivo real de las contracciones temporales y espaciales que habían sugerido Lorentz y FitzGerald. La diferencia fundamental es que ellos incorporaron esas transformaciones para que el éter continuara existiendo en la naturaleza, pero Einstein, al asegurarnos que vivimos en un espacio-tiempo de cuatro dimensiones prescindió totalmente del éter. No existe ningún punto de vista privilegiado, no hay ninguna cuadrícula en la naturaleza en función de la cual juzgar todos los movimientos de los cuerpos. Aquel joven de veintiséis años, como antes Dalton, había desautorizado, dos mil quinientos años después, al gran Aristóteles.

La eliminación del éter, de ese algo que llenaba el espacio y que ofrecía un sistema de referencia absoluto, hizo pensar a Einstein que la luz, aunque pudiera ser una onda, también se comportaba como una partícula. De esta manera no era preciso que el éter ondeara como lo hace el agua para crear una onda. Bastaba con que partículas de luz corrieran a toda velocidad por el espacio. Eso también apoyaba una de sus otras teorías, la del efecto fotoeléctrico, por la que terminaría recibiendo el

premio Nobel de Física. Con la idea de las partículas de luz, llamadas *fotones*, Einstein le daba la razón a Newton en su disputa con Christiaan Huygens, pero añadía una nueva contradicción que te contaré más adelante: la luz puede comportarse como una partícula, de acuerdo, pero no deja de ser también una onda. Era una onda y era una partícula. Algo podía ser dos cosas a la vez. Pero no adelantemos nada todavía y sigamos pensando en los relojes.

Si el tiempo es una dimensión añadida a las tres dimensiones del espacio, podemos decir que, mientras vivimos, nos movemos por el tiempo. Y en efecto es así. Igual que nos desplazamos de modo espacial, también lo hacemos temporalmente. La diferencia es que nuestros movimientos espaciales son voluntarios. Puedes decidir ir o no ir hasta la ventana para abrirla o bajar las escaleras si te apetece, pero no puedes tomar la decisión de viajar o no en el tiempo. Simplemente, no tienes otra opción. Pero el tiempo, al fusionarlo Einstein con el espacio, no deja de ser algo traducible a longitudes, a centímetros o kilómetros.

De hecho, los segundos de los relojes *miden* cierta distancia. Cada segundo, en el universo de cuatro dimensiones, tiene una longitud de 300.000 kilómetros. Ésta es una idea maravillosa. Si tú estás quieto, entre el «tú» de ahora y el «tú» de dentro de un segundo hay una distancia de 300.000 kilómetros. Tiempo y espacio se confunden.

Ahora fíjate en algo. Si, como decimos, nos movemos por el tiempo, debe de existir una velocidad a la que lo hagamos. Si un segundo mide 300.000 kilómetros, es obvio que, aunque no nos movamos, viajamos a una velocidad de 300.000 kilómetros por segundo; es decir, a la velocidad de la luz.

Tus manos, ahora mismo, están desplazándose a 300.000 kilómetros por segundo. Pensarás que debe de haber algún error, porque antes te he dicho que ningún objeto puede llegar a esa velocidad. Sin embargo, la prohibición hace referencia a objetos que se desplazan *en el espacio*, y tus manos se mueven a la velocidad de la luz *a través del espacio-tiempo*.

Aunque no te lo creas, estamos a punto de saber por qué brilla el Sol. Sólo falta un pequeño paso. Te pido que pienses ahora en la energía.

¿Qué es eso de «la energía»? Muchas personas tienen una idea difusa acerca de ella. Como es algo poco concreto, suele confundirse con asuntos medio mágicos. Se habla de energía mística o energía espiritual, pero te aseguro que todo eso no son más que expresiones sin ningún fundamento científico. La energía es, resumiéndolo mucho, la capacidad que tienen algunos cuerpos para realizar un trabajo.

Una pila, por ejemplo, tiene energía porque puede ayudar a realizar un trabajo: mover las ruedas de un coche de juguete o escuchar la radio durante unas cuantas horas.

Hay muchas formas de energía. Una de ellas se llama *cinética*, y depende de la velocidad a la que se mueva un cuerpo. Cuanto más rápido, más velocidad cinética tiene. Esto resulta fácil de entender. Una piedra que viaja a diez kilómetros por hora tiene menos energía cinética que otra que lo hace a cien. Si la primera piedra golpea contra una pared hará menos destrozo que si lo hace la segunda. A más velocidad, más duro será el golpe. Es decir: más energía posee. Es algo sencillo de comprender y que nos dará la pista definitiva para saber el motivo del brillo del Sol.

Vuelve a mirar tus manos. Te he dicho hace un momento que se están desplazando a través de la cuarta dimensión temporal a la velocidad de la luz. Por tanto, de alguna forma, deben de tener cierta clase de «energía cinética» debida a ese movimiento. Pero tus manos, en apariencia, están quietas. ¿Cómo es posible que tenga energía algo que está parado? Están paradas espacialmente, pero no temporalmente.

Esta explicación, Ulises, no es más que un intento por mi parte para ahorrarnos los farragosos pasos matemáticos que llevan a la conclusión a la que ahora mismo vamos a llegar. Hablar de estos asuntos sin utilizar las complicadísimas matemáticas usadas por Einstein posee la ventaja obvia de clarificar los conceptos y hacerlos de algún modo imaginables. Pero también tiene un enorme inconveniente: resulta inevitable perder precisión. Sin embargo, creo que es una forma medianamente útil para que entiendas una de las más famosas aportaciones de la relatividad. Sigamos.

Einstein nos dijo que toda masa en reposo está cargada de energía. Dicho de otro modo: la masa es energía concentrada y la energía es masa dispersa. Esto explica por qué tu mano, pese a estar muy quieta, esté cargada de energía. Cuando dejamos de imaginar el movimiento como algo que ocurre sólo en las tres dimensiones a las que estamos acostumbrados y empezamos a visualizarlo inmerso en las cuatro propuestas por Einstein, todo resulta infinitamente más rico y complejo. De repente, comprobamos que toda la materia que ves a tu alrededor no es otra cosa que energía en un alto estado de concentración. Los objetos son aglutinaciones de energía. Einstein apostó por esta hipótesis y propuso una fórmula para calcular cuánta energía estaba escondida en la materia. Sin duda te sonará, porque es la fórmula matemática más famosa del mundo.

$$\mathbf{E = m \cdot c^2}$$

La letra *E* representa la energía, *m* es la masa y *c* es la velocidad de la luz. Para saber cuánta energía hay en una cantidad de materia, sólo hemos de multiplicar su masa por el cuadrado de la velocidad de la luz; es decir, multiplicar la masa por la velocidad de la luz y luego otra vez por la velocidad de la luz. Como la velocidad de la luz es un número muy grande, cualquier masa, aunque sea pequeña, tiene dentro de sí muchísima energía.

Einstein llegó a todas estas conclusiones sin tener en cuenta el experimento de Michelson y Morley. No necesitó que nadie le dijera que la naturaleza continuaba operando con leyes idénticas al margen del movimiento de los cuerpos en los que esas leyes se producían. Para él, eso era una consecuencia lógica al imaginar un imán moviéndose dentro de un cable, o un cable moviéndose alrededor de un imán.

Fotografías de cuando éramos pequeños

Aún guardo algunas fotos en papel de cuando yo era niño. En algunas me parezco a ti, y eso me alegra bastante. Echar un vistazo a imágenes del pasado genera nostalgia en muchísimas personas. Saber que existe un pasado y que nosotros habitábamos en él nos convierte en auténticos humanos.

No es una reflexión literaria, aunque por su aroma lo parezca. La sensación del paso del tiempo nos define de arriba abajo. Gran parte de lo que hemos logrado como civilización depende del hecho de saber que esto, de alguna manera misteriosa, se está moviendo, que los días, los meses y los años pasan, hasta que llegue un momento en el que dejaremos de estar.

La certeza de que nos vamos a morir provoca que hagamos cosas que de otro modo ni se nos pasarían por la cabeza. Queremos dejar algo aquí para que sea disfrutado por los que lleguen después. Mientras ese instante se acerca, caminamos por el mundo con nuestros asuntos, aumentando nuestros recuerdos, que, a fin de cuentas, son los que hacen que seamos quienes somos.

Detrás de todo eso está el tiempo, un concepto insólito que nos veíamos incapaces de señalar hasta que llegó Einstein con sus asombrosas ideas. Antes de eso, se trataba de algo invisible y misterioso. Ahora, pese a que el misterio y la invisibilidad continúan perfectamente instalados, al menos podemos hacer suposiciones sobre él. Es una dimensión física más, algo que en cierto modo podemos señalar, no con el dedo, pero sí con nuestras matemáticas.



Yo de pequeño.

Las fotografías de cuando yo era chico pueden ser interpretadas ahora de un modo distinto. Ese pequeño Juan Carlos no ha dejado de existir. Aquel instante registrado representa un evento en la inmensa sábana del espacio-tiempo. En cierto sentido, sigue estando ahí, a una distancia que podemos calcular a la perfección. Si multiplico el número de segundos transcurridos desde que se hizo la foto por la velocidad de la luz, obtengo la distancia física que me separa a mí de mi lejano otro yo. El pasado no desaparece por completo, simplemente queda diluido en la distancia.

La unión de espacio y tiempo es escalofriante. Entre el Ulises de ahora y el Ulises de hace un segundo se interpone una distancia de 300.000 kilómetros. Antes de Einstein, ¿dónde iba a parar nuestro pasado? Tendíamos a pensar que desaparecía por completo. La guerra de Troya, la declaración de independencia de Estados Unidos, el instante en el que Galileo besó por primera vez a Marina, tu nacimiento y el del universo, todo eso, según la interpretación anterior a Einstein, ¿dónde estaba? ¿Cómo era posible que desapareciera, si fue tan real, si tuvo tanta existencia en cierta ocasión?

Piensa en este suceso: un rayo de luz reflejado en una acera el 13 de junio de 1812, a las dos y cuarto de la tarde. Para los que pudieron verlo, aquello era una parte de la realidad. Una señora lo vio. Existía ese rayo y esa acera, y además de un modo rotundo y firme. Pensar que ahora eso ha dejado de existir, sólo porque el tiempo ha pasado, es dar por supuesto algo tremendamente arriesgado: que la realidad puede también desaparecer. Por descontado, no estoy diciendo que los eventos pasados estén congelados a cierta distancia de nosotros, pero ahora, al menos, podemos imaginar que es así. La posibilidad de crear una gráfica de coordenadas en las que marcar los sucesos que están en el pasado nos devuelve en parte la ilusión de que, de algún modo, continúan estando ahí. Es una ilusión casi poética, pero gracias a Einstein conseguimos que el estupor de la desaparición del pasado ya no nos invada tanto como antes. Pero el abandono de un desconcierto nos trae, irremediablemente, otro mayor: el de saber que el tiempo transcurre en una dimensión física que nunca podremos señalar con el dedo.

Y ahora ya sí podemos responder a la pregunta de por qué arde el Sol, y por qué lleva tantísimos años haciéndolo.

El brillo del Sol

El camino ha sido largo y en él hemos conocido a muchos científicos. Cada uno de ellos ha ido aportando su talento para hacer más comprensible el mundo. Encadenando razonamientos hemos llegado a la conclusión de que la materia es energía concentrada.

El Sol no podría estar ardiendo gracias a ninguno de los combustibles que conocíamos hasta ahora. Un Sol de carbón o de madera, o de butano, o de gasolina, se consumiría muy rápido. Pero un Sol que consumiera como combustible la energía que se encuentra concentrada dentro de la materia podría durar muchísimo. La letra c de la ecuación de Einstein nos garantiza que, con muy poquita materia, tenemos muchísima

energía. Y, si tenemos mucha materia (el Sol es enorme, ya te conté que dentro de él cabrían un millón de Tierras), dispondremos de una cantidad de energía capaz de durar los diez mil millones de años que se calcula que viven las estrellas.

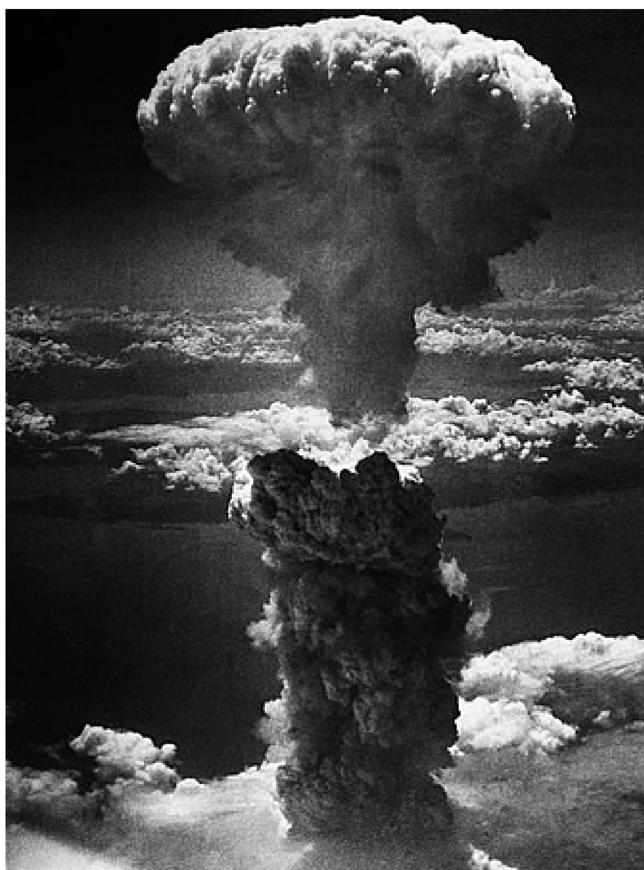
Pero ¿de qué está hecho el Sol? ¿Y cómo convierte la masa en energía?

La primera pregunta se respondió, en el fondo, gracias a Newton. ¿Te acuerdas de cuando este hombre utilizó un prisma de cristal para hacer pasar rayos de luz a través de él? La luz que recibimos de cualquier objeto, incluido el Sol, nos revela de qué está formado. Los átomos que forman la materia de cualquier cuerpo absorben determinados colores de luz y devuelven otros. Sabiendo qué colores llegan desde ese objeto, podemos saber los que faltan; es decir, los que han sido absorbidos por los materiales de los que está formado. Para ello no se utiliza un simple prisma de cristal, sino sofisticados aparatos, pero en el fondo el mecanismo es idéntico.

Cada elemento químico «roba» a la luz cierto color y, al llegar esa luz sin ese color sustraído, ésta nos está comunicando secretamente qué elemento es. Aplicando esta técnica al Sol, se descubrió que estaba formado, principalmente por hidrógeno y helio.

¿Qué ocurre entonces dentro de esa bola de fuego con el hidrógeno y el helio? Ahora sabemos que, allí, los átomos de hidrógeno se juntan entre sí debido a la inmensa fuerza de la gravedad. Se pegan tanto unos a otros que terminan convirtiéndose en átomos de helio. El Sol no es más que una central nuclear de fusión. Cuando se crean átomos de helio, la materia se convierte en energía durante el proceso, y esa energía se transforma en luz y calor.

Las bombas atómicas funcionan exactamente igual que el Sol. La energía liberada por esas explosiones obedece también a la fórmula de Einstein. Esto hizo que nuestro genio se sintiera culpable cuando, en 1945, una inmensa bomba atómica fue lanzada sobre Hiroshima durante la segunda guerra mundial. Su sentido de culpabilidad, aunque comprensible, no tenía ningún fundamento. Einstein sólo demostró que la materia es energía, pero en absoluto pensó que terminaría usándose esa poderosa fuerza para aniquilar a sus semejantes.



Me imagino a Demócrito de Abdera diciéndonos: «Oye, pero ¿no habíamos quedado en que el átomo era indivisible? La madre que os parió a todos.»

Haber encontrado una explicación razonable al brillo del Sol puede haberte provocado cierta satisfacción, pero me entristece decirte que ésta lleva enganchada una profunda intranquilidad. Si el Sol está consumiendo combustible, no es difícil llegar a la conclusión de que algún día se le terminará.

Por desgracia, eso es exactamente lo que ocurrirá. Según los cálculos de los científicos, nuestra estrella lleva encendida unos 5.000 millones de años y está justo en la mitad de su vida. Conociendo el ritmo al que el hidrógeno se convierte en helio, se sabe que dentro de aproximadamente otros 5.000 millones de años el combustible del Sol se acabará, y también la vida en nuestro planeta.

Se acabarán las primaveras, los veranos, los paseos, los libros, las palabras, las bromas graciosísimas, los discursos, las películas, el amor a los hijos, todo lo que nos gusta y también lo que odiamos. Nunca he podido acostumbrarme a la decepción que me supuso conocer en su día este hecho. Ni siquiera la lejanía en el tiempo representa un consuelo. 5.000 millones de años son muchos, claro que sí, pero, esperando, todo llega. Es como una gigantesca broma de mal gusto. Nuestra especie aparece sobre la Tierra, pasamos unos milenios haciendo cosas, edificando un mundo, sufriendo, riendo, creyéndonos eternos, escribiendo libros donde exponemos teorías, amando tanto la naturaleza que incluso queremos llegar a comprenderla y, de repente, porque sí, porque las leyes de la física son como son, resulta que el Sol se apaga y nosotros desaparecemos por completo.

Resulta inevitable pensar entonces en el sentido de todo esto. ¿Para qué seguirá existiendo el universo después de nuestra desaparición? ¿Para qué tantos miles de millones de trillones de kilómetros de decorado si no hay un solo espectador para contemplarlo? ¿Qué sentido tendrá el espacio, el tiempo, si no hay nadie allí para estudiarlos?

Tal vez el error es precisamente querer encontrarle un sentido. En realidad, el universo ha estado solo durante muchísimo tiempo, sin que nadie pudiera disfrutar o sufrir contemplándolo. Antes de nuestra aparición, las estrellas brillaban y los átomos hacían de las suyas obedeciendo ciegamente unas leyes que no se sabe por qué demonios tenían que cumplirse. El cosmos ha estado solo durante la mayor parte de su historia, sin que eso representara ningún problema para él. Simplemente, volverá a ocurrir.

O tal vez no. Quién sabe. A lo mejor, dentro de esos 5.000 millones de años, nuestros descendientes idearán modos de largarse lejos de aquí y localizar otra estrella alrededor de la cual poder seguir girando, una más joven que les garantice un tiempo extra de vida. O incluso, tal vez, aprenderán a vivir sin estrellas. O vete tú a saber qué. Ésa es la única esperanza que nos queda, lo único a lo que podemos agarrarnos para seguir haciendo lo que hacemos sin deprimirnos del todo.

Pero podemos tener otra idea tranquilizadora. Se trata de algo más poético que científico, pero en ocasiones la poesía también consigue animarnos de alguna manera. Para entender de qué te hablo, piensa en ti mismo. Sabes que estás hecho de átomos, miles de millones de millones de millones de ellos. Pues bien, cada uno de esos átomos que forman tu cuerpo estuvo algún día dentro de una estrella.

Los átomos de hidrógeno de las estrellas se transforman, como acabas de ver, en átomos de helio. Éstos, a su vez, van convirtiéndose, gracias a la fusión nuclear, en elementos más pesados, como el hierro y el carbono, sustancias de las que tú estás hecho. Cada átomo de tu cuerpo y del mío, y también del de todos tus amigos, fue creado dentro de un sol lejano.

¿Y bien? ¿Te sientes mejor? No, creo que no. Al menos lo he intentado. Tenía la remota esperanza de que la poesía —con bases reales en esta ocasión— pudiera animarte un poco, pero imagino que no ha sido así.

Pero bueno, Ulises, vamos a alegrarnos, porque mientras estemos danzando por aquí tenemos sobrados motivos para ello. ¡Qué narices, estamos vivos todavía! Así que sigamos con Einstein.

Como sabes, hay muchas películas divididas en dos partes. La película de la relatividad de Einstein también es doble. La que te he contado aquí, publicada en 1905, se conoce como *teoría de la relatividad especial* o *teoría de la relatividad restringida*. Diez años después, cuando Einstein era un tipo respetado, idolatrado y había pasado ya sobradamente a la historia, publicó la segunda parte, sin duda todavía más espectacular que la primera.

La relatividad general

Muchas páginas atrás, cuando te hablaba de la gravitación, te conté que Newton no había podido explicar en qué consistía. Detalló exactamente cómo funciona, pero no *por qué*. Einstein se dispuso a hallar la explicación.

La clave para obtener la respuesta la encontró en su idea del espacio-tiempo. Si ese concepto había servido para explicar el extraño comportamiento de los objetos en movimiento unos respecto a otros, tal vez sería de utilidad también para dar razón de la existencia de una misteriosa fuerza que mantenía unidos los cuerpos. Newton nos dijo que la Tierra atrae la Luna en virtud de una fuerza. Einstein eliminó la palabra *fuerza* y prefirió hablarnos de geometría.

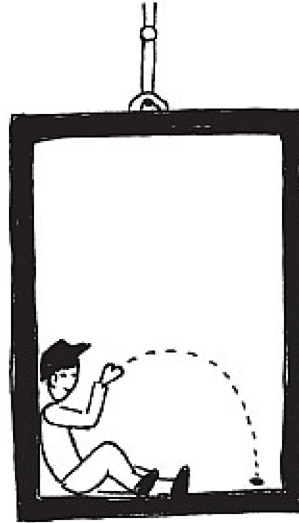
Ya que parecía estar claro que vivimos en un extraño hipervolumen de cuatro dimensiones, pensó que sería bueno extraer de ello todas las conclusiones posibles. ¿Qué cosas le podían pasar a ese hipervolumen? Pensó que la razón por la cual las cosas se caen al suelo no es que la Tierra ejerza sobre ellas una fuerza misteriosa, sino que el espacio-tiempo se curva en presencia de las masas (nuestro planeta tiene mucha masa), obligando a los objetos a seguir una trayectoria distinta, curvada por su presencia.

Cuando la Luna gira alrededor de la Tierra, está describiendo esa órbita circular porque la masa terrestre ha combado el espacio-tiempo, deformando lo que era una línea recta para convertirla en un círculo.

Nosotros, pobres seres tridimensionales, no podemos ver esa curvatura, porque se produce en una dimensión adicional. Pero la naturaleza no tiene la culpa de nuestras limitaciones dimensionales ni de la falta de imaginación que eso nos provoca.

Sin duda pensarás que esta idea, por bonita y espectacular que sea, requiere ser explicada. Decir que el espacio se curva en presencia de las masas puede parecer algo incluso poético, pero se hace necesario saber por qué lo hace y cuál fue el motivo que llevó a su descubridor a pensar que las cosas tenían que ser así precisamente.

Einstein solía explicarlo empleando un ascensor. Pedía que imagináramos a un ser humano dentro de uno de esos elevadores situado en el espacio, en ausencia de gravedad. El ascensor, al subir, provocaría que la persona que está dentro notara una presión en los pies. Todos hemos percibido eso cientos de veces. Cuando estás dentro de un ascensor y éste se pone en funcionamiento, podrías llegar a saber, incluso con los ojos cerrados, si sube o baja. Cuando sube, notas por un momento que pesas más, debido a la aceleración hacia arriba. Cuando baja, por un segundo parece que peses menos. Se trata de un fenómeno bastante fácil de comprender.

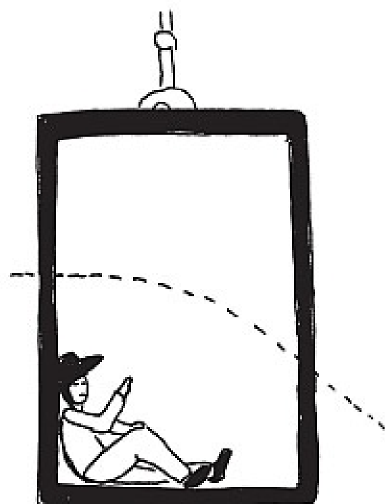


Einstein pensó que, curiosamente, lo que notaría ese ser humano situado en el ascensor espacial se parecería mucho a la fuerza de la gravedad. Si el ascensor va acelerando hacia arriba de manera continua, su ocupante podría pensar que se encuentra en un campo gravitatorio. Su cuerpo tendría peso, las cosas se caerían al suelo del ascensor y todo transcurriría ahí dentro como cuando estaba tranquilamente en la habitación de su casa, a miles de kilómetros, en el planeta Tierra.

Si ahora nuestro amigo lanza una piedra en sentido horizontal, efectuará una parábola como cuando la tiramos al aire en el campo gravitatorio terrestre.

¿Te das cuenta? ¿No te recuerda esa línea a otra que dibujé hace muchísimas páginas? Al principio de este libro, cuando lanzabas piedras para averiguar por qué no se caía la Luna, pudiste ver que éstas trazaban una parábola en el aire, curiosamente idéntica a esta que ahora vemos. Es curioso, ¿verdad que sí? Parece que la similitud entre la aceleración y el campo gravitatorio no es sólo casual.

Einstein, al darse cuenta de este tremendo parecido entre la fuerza de la gravedad y lo que ocurre dentro de un ascensor, se atrevió a dar uno de sus saltos mentales y declaró que no había *ninguna diferencia* entre la gravedad y lo que ocurría en un sistema en aceleración. Si algo se parece *del todo* a algo, es porque se trata *del mismo* fenómeno.



Ahora imagina que a través de un orificio situado en la pared derecha del ascensor entra un rayo de luz que sale por otro orificio situado en la parte izquierda. Si el ascensor es lo bastante rápido cuando sube, el rayo de luz que entra a una determinada altura llegará al otro extremo a una altura menor, debido al cambio de posición del ascensor.

El cambio de posición del ascensor, al estar acelerando, aumenta cada vez más. Por tanto, la trayectoria que hace ese rayo de luz es curva. Entra en un punto determinado, pero sale más abajo, porque el ascensor está ahora más arriba.

Ahora debes prestar atención, porque vas a descubrir por ti mismo algo que revolucionó la ciencia y cambió el mundo. No sé con qué grado de interés estabas conectado hasta ahora a la lectura de este libro, pero te ruego que lo multipliques por dos, porque realmente vale la pena. Observa con detenimiento el dibujo anterior.

La gravedad atrae todos los cuerpos con masa. Eso lo sabemos desde Newton. Ya hemos dicho que un ascensor que sube se comporta *exactamente igual* que un campo gravitatorio, por tanto aquí la luz parece ser atraída también por la gravedad. La forma de su trayectoria es igual a la de una piedra que cae. Eso significaría que la luz tiene masa. Pero antes hemos dicho que ningún cuerpo con masa puede ir a la velocidad de la luz. ¿Cómo es posible, pues, que la luz vaya a la velocidad de la luz? Muy fácil: porque la luz no tiene masa.

Caramba, ahora resulta que la luz no tiene masa. Entonces, si no la tiene, ¿cómo diablos es atraída por un campo gravitatorio que, por definición, sólo atrae los cuerpos con masa? Una de dos: o tiene masa y entonces la luz no puede viajar a la velocidad de la luz (lo que es una contradicción, puesto que lo hace), o no tiene masa y, en consecuencia, no puede ser atraída por la gravedad.

Sólo hay una explicación posible, y no es ninguna de las dos opciones anteriores: la luz no tiene masa y, aun así, es atraída por el campo gravitatorio. ¿Por qué? Muy fácil: hemos de cambiar la palabra *atracción* por el concepto *desvío*. La luz es «desviada» por el campo gravitatorio.

ULISES: Desviar, ¿qué es eso de desviar? ¡Pero si la luz se mueve por el espacio en línea recta!

YO: Pues entonces el espacio ha de ser desviado.

ULISES: ¿El espacio desviado? Me estás tomando el pelo. Eso es muy raro, ¿cómo se va a desviar el espacio?

YO: Curvándose.

ULISES: ¿Curvándose? ¿El espacio se curva?

YO: Sí. La gravitación curva el espacio.

ULISES: ¿La gravitación curva el espacio?

YO: Sí. ¿Por qué no? En este ascensor ha ocurrido. Y este ascensor se comporta como un campo gravitatorio, ¿no habíamos quedado en eso?

ULISES: Sí, en eso tienes razón. El ascensor, acelerando hacia arriba, se comportaba como un campo gravitatorio. Las cosas caían igual que sobre la superficie de la Tierra.

YO: ¿Y verdad que en el ascensor el rayo se ha curvado? Tú mismo lo has visto en el dibujo que te he hecho.

ULISES: Sí.

YO: ¿Y verdad que la luz viaja en línea recta y, por tanto, no puede curvarse?

ULISES: Sí.

YO: Entonces, convendrás conmigo en que, si ha habido una curva y la luz no ha podido curvarse, *algo se ha tenido que curvar*. Y ese algo sólo puede ser el espacio.

ULISES: Sí. Es cierto, mirado así.

YO: Y si se ha curvado el espacio en el ascensor, y el ascensor se comporta como un campo gravitatorio, ¿qué concluimos, pues?

ULISES: ¡Concluimos que la gravedad curva el espacio!

YO: Perfecto.

Me duele bastante la cabeza. Vamos a despejarnos un poco.

Tu mundo

Vas por la calle y lo miras todo. Una chica camina delante de ti. Tiene el pelo rubio y el sol hace que brille un poco. Sus tacones hacen ruido a cada paso, pero apenas se puede oír porque hay sonidos por todas partes. Un árbol sirve para que una bicicleta quede sujeta a él mediante una cadena muy delgada. Arriba, las nubes blancas quedan estupendamente con el fondo azul del cielo. Estás contento. Es como si de repente la vida tuviera sentido. Te acuerdas de algo que te hace feliz y te da por acelerar el paso. No es que quieras llegar antes a algún sitio; tu rapidez repentina se tiene a sí misma como objetivo. Es una forma de agradecer al mundo que sea así, tal como es. Piensas que las aceras son bonitas, y las fachadas de los edificios, y la ropa de las personas que van a tu lado. Lejos, al fondo de la calle, puede verse una montaña. Siempre ha estado ahí, pero ahora te das cuenta de lo fantástica que es. Su lejanía le da un tono azulado.

No pueden distinguirse bien los árboles, pero sabes que están allí, dando sombra a grandes extensiones de terreno. Imaginas los nidos de los pájaros. Animalitos pequeños que aún no saben volar, con el pico abierto, mientras su madre les da de comer.

A través de la ventana de uno de los edificios más cercanos, ves una mesa con una lámpara encendida. Da una luz anaranjada que te genera una sensación agradable, como la de volver a casa después de un mes paseando por la nieve. Seguramente alguien ha estado sentado a esa mesa hace un momento. Piensas en quién puede ser, qué edad tendrá, en sus alegrías y sus penas. Tal vez se trate de una persona muy joven, quién sabe si una chica simpática con el pelo castaño, o a lo mejor es un señor rematadamente calvo y con una tremenda barriga.

Luego miras otra vez el cielo y piensas en tus amigos, en lo que estarán haciendo en este instante. Y te da por reflexionar sobre los cientos de miles de individuos que se encuentran en la misma ciudad que tú, cada uno con sus cosas, haciendo planes, escribiendo en sus ordenadores, arrodillados buscando algo que se les ha caído, o simplemente dejando pasar el tiempo. Y piensas también en todos los que están lejos, a cientos de kilómetros, dentro de un tren, a bordo de un barco, pedaleando una bicicleta amarilla, bañándose en un río, peleándose, en un quirófano, dibujando ciervos, cortando madera para hacer camas, aplaudiendo, muertos de miedo o estallando en un ataque de risa por cualquier tontería.

Todo eso es el mundo, ese que tú estás acostumbrado a ver cada día; el mundo de las cosas que te interesan, el que has visto desde que eras pequeño, el de tus emociones. Ahora, de repente, sabes que todo eso está instalado en un lugar extrañísimo, en lo que los científicos llaman *continuo espacio-tiempo*, una rarísima tela de cuatro dimensiones en la que las cosas habitan de un modo que jamás hubieras imaginado antes.

Los picos abiertos de los pájaros en la montaña azulada que ves al final de la calle, la cadena de la bicicleta bordeando el tronco del árbol, la luz naranja de la lámpara que divisas a través de la ventana de ese edificio; todo eso que te provoca sensaciones conocidas, son sucesos en el espacio-tiempo, eventos que pueden representarse simbólicamente con un punto en una gráfica para ayudarnos a entender por qué las cosas son como son.

Tu vida no ha cambiado al saber esto, pero, si lo piensas bien, sin duda se ha enriquecido. El Sol que hace brillar el pelo de la chica rubia que caminaba justo delante de ti de repente ya es otra cosa. Un gigantesco horno termonuclear situado a ciento cincuenta millones de kilómetros, capaz de convertir la materia en energía gracias a la fórmula de Albert Einstein, es el responsable de ese brillo en el pelo de la chica. La poesía no desaparece al conocer su causa, sino que se multiplica. Hay en el conocimiento científico una especie de potenciador de la belleza, como si el estudio de la ciencia nos ofreciera de regalo un gigantesco volumen para amplificar las emociones que nos provoca la simple observación de nuestro entorno.

Te pasarán muchas cosas en la vida. Te enamorarás para desenamorarte después, serás feliz a rabiar durante horas y luego te pondrás triste por cualquier cosa. Conocerás a gente que te caerá bien y personas que te fastidiarán la existencia, pero

haber aprendido algo acerca del funcionamiento del mundo te provocará una extraña experiencia que de otro modo no hubieras logrado tener: la sensación de que todo esto que nos rodea puede ser medianamente entendido, que existe una resonancia entre nuestra forma de pensar y el espectáculo que nos ofrece la realidad. Este pensamiento te podrá llegar a dar alegría en momentos en los que ésta haya desaparecido por cualquier causa. Cuando todo te parezca absurdo, podrás pensar que el universo, con todas sus extrañezas, es un buen aliado, que gracias a la posibilidad de estudiarlo puede proporcionarte instantes de felicidad que, con suerte, tal vez compensen un poco todos tus malos momentos.

Un científico de verdad no olvidará jamás que el mundo es doble: que el Sol es una central nuclear, y también la causa de alegrías momentáneas cuando se recibe su calor en la cara; sabrá que el tiempo es una dimensión añadida a las tres dimensiones espaciales, como también aquello que miden los relojes cuando estamos esperando a un amigo. La ciencia, con sus análisis, no reduce el mundo al diseccionarlo, sino que lo expande.

Y ahora vamos a continuar ensanchándolo. La teoría de la relatividad es uno de los puntales de la nueva física del siglo XX, pero hay otro, paralelo a ella, que trajo de cabeza —y sigue haciéndolo— a todos los científicos del planeta Tierra.

La mecánica cuántica: el modo más bonito de empezar un siglo

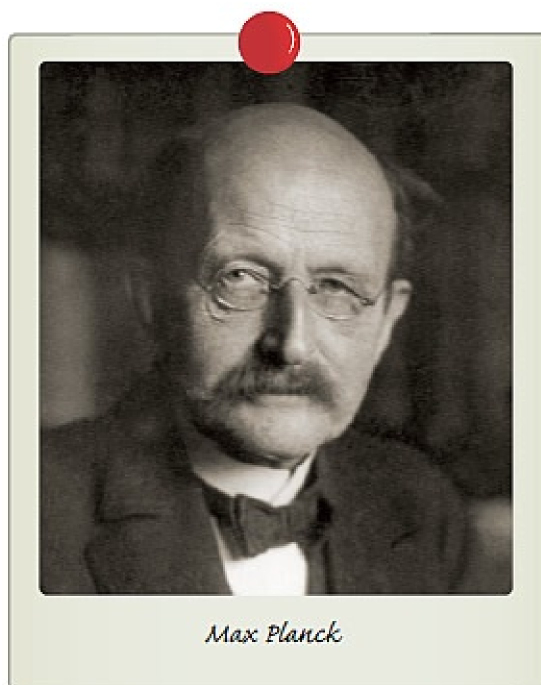
No te puedes imaginar, Ulises, la cantidad de tonterías que se escriben cada día acerca de este asunto. La palabra *cuántico* se ha convertido en una especie de símbolo de todo aquello que suena raro e inexplicable, una excusa perfecta para hablar de hechos que mezclan espiritualidad, física teórica y embustes gigantes.

Cientos de libros nos hablan del poder de lo cuántico, utilizando una disciplina científica seria de un modo chapucero y superficial. Desde hace algunas décadas se puso de moda hacerlo y la cosa no tiene pinta de parar. Cada día se hacen más conferencias sobre este asunto y se escriben más artículos relacionando el mundo de las partículas subatómicas con las presuntas fuerzas que animan nuestro espíritu. Pero la realidad es muy distinta. Te voy a contar la historia de la mecánica cuántica, una sucesión de hechos asombrosos que empezaron justo al mismo tiempo que el siglo XX. Cuando lo leas, comprobarás que no tiene nada que ver con todas las barbaridades que hayas podido llegar a escuchar.

Voy a presentarte a un tipo fenomenal.

Max Planck

Este señor calvo y con gafas tenía escondido tras su frente uno de los cerebros más potentes de los siglos XIX y XX. Probablemente nunca llegó a imaginar en su juventud el tremendo lío que iba a generar en la historia de la física.



Desde pequeño sintió una fuerte fascinación por la naturaleza, pero no tenía muy claro a qué dedicarse. Le gustaba la música y la filología, y dudó bastante a la hora de decidir qué iba a ser en el futuro. Como músico era bastante aceptable. Incluso llegó a escribir una opereta titulada *El amor a la naturaleza*. Tal vez fue ese amor lo que lo hizo decantarse definitivamente por la física teórica. En efecto, quiso comprender la naturaleza porque la amaba, algo bastante común en la casi totalidad de los hombres y las mujeres que se dedican a añadir conocimiento a este insólito mundo. Lo que quizá diferencia a Planck del resto de los científicos es que él continuó amando la naturaleza aun cuando supo que jamás podría llegar a entenderla del todo.

Su vida estuvo llena de tristeza. Vio morir a sus hijos y a su primera esposa. Dos hijas fallecieron mientras estaban dando a luz a sus propios críos, y a su hijo menor lo torturaron los nazis hasta matarlo, acusándolo de haber participado en un plan secreto para asesinar a Adolf Hitler.

Pero, aunque su vida personal fue una sucesión de penas, su vida profesional lo convirtió en el científico más respetado de toda Alemania. Para llegar a ese prestigioso nivel, hemos de retroceder en el tiempo y situarnos en la frontera entre el siglo XIX y el XX.

En aquel tiempo, Einstein todavía no había escrito ni una línea de su teoría de la relatividad. Faltaban unos cinco años para que eso ocurriera. La física estaba, pues, establecida con firmeza, muy bien sujeta al suelo, era nítida y clara, oxigenada y

perfecta y descansaba sobre unas bases maravillosamente simples. Newton era el padre de todo aquello, el descubridor de un magnífico universo regido por leyes cabalmente regulares.

El átomo de Rutherford era el que estaba de moda y el que se consideraba perfectamente cierto, aquel que se parecía a un sistema solar en miniatura, con un núcleo de protones y neutrones alrededor de los cuales orbitaban los electrones.

Max Planck empezó sus investigaciones centrándose en el estudio de algo que sin duda tú conoces muy bien.

Al rojo vivo

Cuando calientas un clip metálico con un mechero, empieza a cambiar de color. No es que resulte la actividad más divertida del mundo, pero uno llega a hacer cosas insólitas cuando no tiene nada mejor que hacer. No te avergüences si tú también has dedicado algunos minutos a estos menesteres. Forma parte de las tonterías que llevamos a cabo los seres humanos, y nadie ha dicho que tengamos que ser siempre perfectamente lógicos en nuestro comportamiento.

Lo curioso del asunto es que, a igual temperatura, siempre obtenemos el mismo color. Eso es algo que podría ser tomado como una *simple curiosidad*, y no habría necesidad de darle más vueltas, pero los físicos son tipos para quienes la curiosidad nunca es simple. Así que deciden devanarse los sesos hasta hallar explicaciones que les satisfagan cuando se encuentran enfrentados a cualquier fenómeno, por tonto que pudiera parecerle a los demás.

Max Planck pasó muchas horas pensando en el motivo de esta identidad del color a iguales temperaturas. Años atrás, un físico llamado Ludwig Boltzmann se había interesado también por este fenómeno y había observado que la energía de la luz que emiten los cuerpos calientes parece no ser gradual. Es decir: cuando los vas calentando, pasan de una energía a la siguiente sin que jamás se produzca una emisión de energía intermedia. Es como si fuera a trozos.


Ludwig Boltzmann

Por desgracia, Boltzmann no llegó a avanzar en el estudio de este inquietante hecho, porque la verdad es que no estaba demasiado bien de la cabeza y le costaba cada vez más trabajar concentrado. Esto provocó una enorme tragedia, porque acabó sufriendo muchísimo hasta suicidarse.

Max Planck, cuya mente estaba muchísimo más equilibrada, pudo sacarle un partido mayor a las extrañas observaciones de Boltzmann. Empezó a hacer cálculos utilizando los conocimientos físicos de la época, aquellos que constituyen lo que podríamos llamar *física clásica*, pero con ellos no lograba dar una respuesta que lo satisficiera. Así que, un buen día, mientras paseaba, tuvo la gran intuición. Rápidamente regresó a su casa y le dijo a su hijo: «Oye, ¿sabes qué? Acabo de tener una idea que, de confirmarse, cambiará la física para siempre.» Ignoro cuál fue la reacción del chaval, pero estoy seguro de que tú eres muy capaz de imaginarlo.

¿Y cuál era esa idea tan espectacular? Para entenderlo, piensa de nuevo en Demócrito. ¿Te acuerdas de él? Ese tipo que pensó, junto con su maestro Leucipo, en la posibilidad de que la materia estuviera formada por elementos muy pequeñitos. Ya hemos visto que, gracias a los trabajos de Dalton, Thomson y Rutherford, entre muchos otros, esa lejana hipótesis terminó tomando forma y hoy por hoy los átomos son algo innegable. Planck pensó que, tal vez, la energía también estuviera formada por pequeñas unidades indivisibles. Esto explicaría de forma impecable lo que Boltzmann había intuido. Las emisiones de energía en los cuerpos calientes pasan de una cantidad a otra sin pasar por la intermedia porque, en el fondo, la energía está formada por unidades perfectamente definidas, por ladrillos, por paquetes.

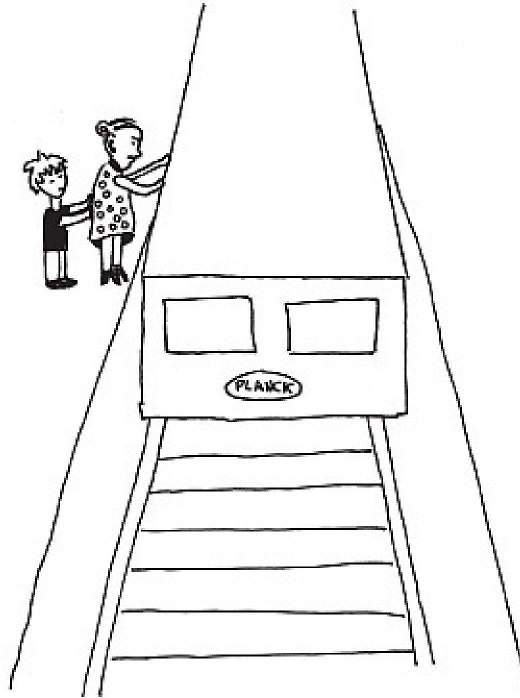
Átomos de energía

Si existieran estos átomos de energía, unidades mínimas de ella, de repente la explicación del cambio de color en función de las temperaturas de los cuerpos quedaba explicada a la perfección.

Max Planck se puso realmente contento. No era para menos. Por fin, después de mucho pensar, había llegado a una solución que parecía encajar de forma exacta con los hechos. Si la energía no era continua e infinitamente divisible, si existían «átomos» de ella, la realidad empezaba a casar de repente. Pero el precio a pagar era demasiado alto. La naturaleza, a cambio de ofrecernos esa explicación, nos pedía que renunciáramos a algo en lo que habíamos creído desde siempre. Debíamos empezar a ver como algo habitual hechos insólitos.

Max Planck nunca llamó a esas unidades mínimas de energía *átomos*. En mala hora tuvo otra idea que él consideró mejor y los llamó *cuantos*. Y de ahí el nombre de la nueva rama de la física que él nos trajo: *la mecánica cuántica*. Probablemente, si hubiera decidido bautizar el fenómeno con otro nombre, nos habríamos ahorrado a varios centenares de miles de pirados que se agarran a lo «cuántico» para lanzar hipótesis descabelladas sobre el destino del alma, la resurrección, la percepción extrasensorial y asuntos similares. La palabra elegida por Planck tiene, en sí misma, cierto aroma misterioso. Si se hubiera llamado, pongamos por caso, *mecánica logarítmica* o *mecánica atómico-energética*, estoy convencido de que los embaucadores no se habrían fijado tanto en ella y nos habrían dejado un poquito en paz a todos.

Sea como fuere, la idea de Planck lograba explicar los hechos, pero el precio a pagar resultaba francamente alto. A ti puede parecerte que la existencia de unidades indivisibles de energía no supone ningún problema, pero te será fácil entender que sí al fijarte en algo. Deja de pensar en cosas pequeñas, en energías diminutas, y dedica tres minutos a visualizar algo un poco más grande, por ejemplo una adorable anciana a punto de subir a un tren. Tú, muy caballeroso, la ayudas a entrar empujándola sutilmente por la espalda.

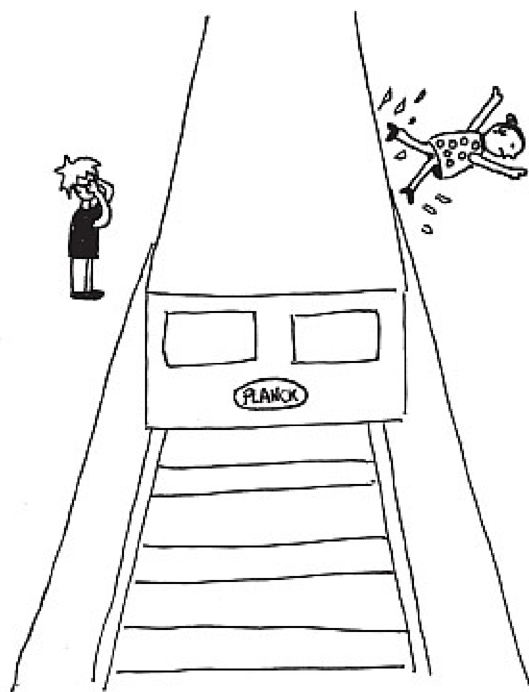


Verás en seguida que la nueva mecánica cuántica genera auténticos problemas a la hora de imaginar el mundo. Cuando tú estás ayudando a la anciana para que suba al tren, le trasladas a ella cierta cantidad de energía. Si decides empujarla un poco más, aumentarás la energía de la señora. Tú puedes ir aumentando a voluntad —con la única barrera de tus fuerzas— la energía que envías a esa mujer con la ayuda de tu mano. Hasta aquí todo normal. Simplemente he hecho una descripción de un fenómeno que podrías haber experimentado en la vida real.

Pero ahora vamos a cambiar de escala, utilizando los mismos elementos. Imagina un tren minúsculo, un Ulises microscópico y una ancianita pequeñísima.

¿Lo tienes ya en mente? Genial. Aquí estáis de nuevo, disminuidos hasta tamaños atómicos. La idea que existía entre los científicos desde Newton era que lo muy pequeño y lo muy grande eran perfectamente intercambiables. Es decir: las leyes que funcionan en las cosas enormes deben de ser similares a las que operan en el mundo de lo diminuto. Sólo hay que cambiar las escalas y ya está. Si aprendes lo que le ocurre a dos gigantescas bolas del tamaño de la Tierra cuando chocan entre sí, ya estarás en condiciones de averiguar lo que le pasará a dos pequeños átomos que colisionan. Sólo hay que cambiar los números, las magnitudes de las fuerzas, pero las leyes deberían ser las mismas. Esto es lo que la física clásica decía llena de orgullo a finales del siglo XIX, pero ahora veremos que no puede ser así si Max Planck tiene razón.

Tú, ahora muy pequeñito, empujas amablemente a la ancianita diminuta para que pueda subir al tren. El problema es que te pide que la empujes un poco más, necesita algo más de impulso para subir al vagón. Así que decides aumentar el empuje con tu precioso brazo, pero cuando lo haces ocurre algo espantoso. La ancianita ha adquirido una tremenda velocidad, con lo que la lanzas al interior del tren, ocasionando que se estampe contra la pared interior y salga volando por el otro extremo.



Como es lógico, te quieres morir. Tu intención no era otra que añadir un poco de impulso a la señora, pero no tanto. ¿Qué ha pasado? Muy sencillo: los cuantos de energía de nuestro amigo Max Planck están haciendo de las suyas. La energía está cuantificada, atomizada, enladrillada. Pasa de un nivel a otro superior sin que haya energías intermedias. Se trata de elegir entre el impulso con energía *uno* (muy poca) o con energía *dos* (demasiada), pero no existe la energía *uno y medio*, aquella en la que tu versión en miniatura hubiera podido ayudar amablemente a la anciana.

Puedes seguir pensando que no hay ningún problema. Una cosa es el mundo de los objetos grandes, de los trenes, las ancianas, los barcos y las farolas —es decir, nuestro mundo— y otro muy distinto el de las cosas chiquitinas. Pero esto supone un enorme problema, porque divide la realidad en dos, y destroza el sueño de la física y, por extensión, el de la ciencia, cuya ilusión era unificar la realidad y dar una explicación común a todos los sucesos naturales. Que unos hechos no sucedan en el mundo macroscópico pero sí en el microscópico es algo rotundamente extraño. Se ha creado una división, un cisma, una frontera insalvable entre dos partes de la realidad que antes estaban unidas a la perfección. En el mundo de lo muy pequeño, pasan cosas raras.

Se cuenta que el propio Max Planck no se creía del todo su aportación a la física. No era tenido demasiado en cuenta hasta que nuestro admirado Einstein, cinco años más tarde, demostró, sin ningún género de dudas, que la teoría cuántica era terminantemente correcta.

Planck siguió teniendo problemas en la vida. Tras la ejecución de su hijo por el régimen nazi, su casa fue destruida en un bombardeo. Él y su segunda esposa se vieron obligados a huir de allí y deambular por los bosques, hasta que el ejército americano dio con él y lo llevó a un lugar seguro, donde falleció siendo un anciano respetable que había llenado de luz y también de perplejidad el mundo de la ciencia.

Einstein otra vez

A este buen hombre no nos lo vamos a quitar de encima en mucho tiempo, porque siempre tenía algo nuevo que decir. La demostración que dio de la teoría cuántica de Planck es conocida como *explicación del efecto fotoeléctrico*, proeza que le hizo ganar el premio Nobel de Física en 1921.

Puede explicarse más o menos así. Cuando la luz incide sobre una placa metálica, ésta lanza electrones al exterior. Los despide hacia fuera. Esto había sido observado por Hertz (el hombre a quien, entre otros muchísimos hallazgos, debemos el nombre de *ondas hertzianas*) en la segunda mitad del siglo XIX. Este buen caballero comprobó que la emisión de electrones no se producía nunca en la oscuridad. Era necesario que la luz incidiera sobre el metal. Pese a registrar el fenómeno, no pudo darle una respuesta. Einstein sí lo hizo. Nos dijo que eso ocurría porque la luz que iluminaba el metal estaba compuesta por partículas llamadas *fotones*. Los fotones golpeaban los electrones de la parte exterior de la placa metálica. Éstos absorbían el fotón de luz, se hacían con él, lo agarraban y de esta manera aumentaban su energía. Y al hacerlo, cargados con esa nueva potencia obtenida por el fotón capturado, conseguían salir disparados al exterior. El modo de hacerlo coincidía con la teoría de los cuantos, de los ladrillos energéticos. De esta manera, el autor de la teoría de la relatividad lograba explicar el efecto fotoeléctrico y, por si eso fuera poco, confirmaba esa intuición que el profesor Planck tuvo aquel día mientras paseaba, aquel fogonazo mental por el que dijo a su hijo: «Acabo de tener una idea que, de confirmarse, cambiará la historia de la física.» Ni su hijo ni él sospechaban que sería Einstein quien confirmaría esa intuición.

Y ahora, para relajarnos un poco y con el fin de salir momentáneamente del mundo de lo muy pequeño, vamos a echar una ojeada a las galaxias, porque las tenemos algo olvidadas, ¿verdad?

El gigantesco cosmos

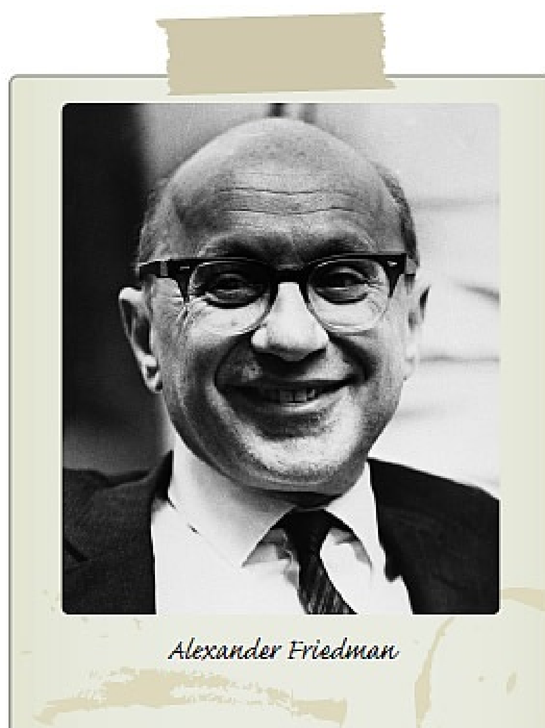
La historia de la mecánica cuántica no termina aquí, por supuesto. Volveremos a ella dentro de muy poco y te darás cuenta de que la cosa no ha hecho más que empezar. Si el ejemplo del tren y la anciana en miniatura te ha hecho tambalear un poco, si la existencia de ladrillos energéticos que cambian sin pasar por un término medio te ha provocado una ligera sensación de estupor, lo que te falta por saber te volverá definitivamente loco. Pero creo que no estaría mal que nos dedicáramos ahora a lo que hay encima de nuestras cabezas.

Nos habíamos quedado con un universo en el que las cosas se estaban poniendo interesantes. Los astrónomos empezaban a poder calcular con cierta precisión las distancias y todo parecía mucho más grande de lo que jamás habíamos imaginado.

Para colmo, Einstein llega con una teoría radicalmente nueva sobre el espacio y el tiempo que perfecciona la gravitación de Newton y nos coloca en un mundo extraño de cuatro dimensiones en el que el tiempo se contrae y la masa curva el espacio.

Vivimos en un planeta pequeño comparado con las dimensiones cósmicas. Aunque a ti te parezca enorme, la Tierra es una millonésima de millonésima de millonésima de millonésima parte de un granito de sal si la comparamos con las enormes distancias que separan las cosas por ahí fuera. Orbitamos de forma extraña alrededor del Sol, una bola de fuego mareantemente grande que convierte el hidrógeno en helio a causa de la presión gravitatoria ejercida a los átomos que contiene. Y el Sol, a su vez, gira alrededor del núcleo de la Vía Láctea, nuestra galaxia, una masa con forma espiral que contiene doscientos mil millones de soles como el nuestro, separados entre sí por distancias de vértigo. Y nuestra galaxia no es la única. Esto último fue intuido, como viste, por los hermanos Herschel, pero aún faltarían unos pocos años para que un hombre del que luego te hablaré pudiera confirmarlo. Hoy día hemos llegado a observar alrededor de ochenta mil millones de galaxias. ¿Te das cuenta? Ochenta mil millones. Y dentro de cada una de ellas, miles de millones de soles, en cuyo interior cabrían un millón de planetas como el nuestro.

Y ahora quiero que conozcas a un señor que nació en Rusia.


Alexander Friedman

Este hombre con aspecto divertido fue un tipo extraordinario. Se llamaba Alexander Friedman y consiguió ser uno de los primeros seres humanos en sacar conclusiones nuevas y atrevidas partiendo de la teoría general de la relatividad. Para entender lo que llevó a cabo, sería bueno hacer algo que, a primera vista, puede provocarte un cierto rechazo: teorizar sobre la teoría de la relatividad. Pensarás que es como rizar el rizo, pero en seguida verás que resulta de mucha utilidad.

La relatividad general es una teoría sobre el universo en su conjunto. Hasta que fue formulada, y durante toda la larga y, en ocasiones, aburrida historia del ser humano, tan sólo se abordaba el asunto del cosmos en su totalidad desde el punto de vista de la religión o la filosofía, pero jamás un científico tuvo el andamiaje sobre el que edificar hipótesis acerca de *todo*. Con la aportación de Einstein, de repente la totalidad de todo lo que existe quedó sujeta a unas ecuaciones matemáticas. Pensar en la estructura global del universo se convirtió en un asunto científico.

Friedman se puso manos a la obra y analizó a fondo la relatividad. Estudió con detalle las matemáticas que usó Einstein, dándole vueltas y vueltas al asunto, pasando noches garabateando fórmulas y reflexionando sobre las curvaturas del espacio. Su inteligencia era muy nítida, casi transparente, cosa que lo ayudó muchísimo a ver las profundas implicaciones que tenía el hecho de aceptar las ideas de la relatividad. Entendió esa teoría como quizá muy pocos hombres lo hayan hecho y llegó a una conclusión que lo dejó literalmente helado.



Parménides, alguien que habría estado muy molesto con Friedman

Todo empezó poco a poco. Al principio eran intuiciones, pero, tras meses de estudios, la conclusión parecía obvia. Si la teoría de la relatividad general era correcta, el universo tenía que estar cambiando de tamaño. Era algo que se desprendía de las matemáticas, un hecho innegable. Aquello le pareció muy raro, como puedes comprender. A ti y sin duda a un antiguo filósofo griego llamado Parménides, para quien las cosas no podían cambiar jamás, porque todo estaba lleno de ser, y el ser era inmutable. Y si nada podía cambiar, imagínate el universo, que no es otra cosa que la totalidad de todo cuanto existe. No te preocupes, ya te lo contaré en otra ocasión. A lo largo de la historia del pensamiento ha habido gente que ha pensado cualquier cosa que tú puedas imaginar.

Si el cambio del universo es algo de por sí difícil de imaginar, aún más lo fue su propuesta: todo se está haciendo más grande. El cosmos se está expandiendo, agrandando día a día. Sin duda te costará entender algo así. Si el universo está creciendo, ¿respecto a qué lo hace? Cuando tú creces, lo haces con relación al espacio que ocupas. Puedes aumentar tu estatura año a año porque existe espacio libre para poder hacerlo, pero, si es el universo en su totalidad el que aumenta, debe de existir algo más grande que el mismísimo universo, un lugar insólito que pueda ir haciéndole sitio. Pero pensar así supone no haber entendido del todo la teoría de la relatividad. Recordarás que, para Einstein, el espacio y el tiempo son dos conceptos flexibles. Pueden cambiar de forma. Cuando Friedman afirma que el universo se está haciendo grande, nos está diciendo que es el propio espacio-tiempo el que está creciendo. La analogía con tu crecimiento, por tanto, no es válida. Tú creces *en el espacio*, pero el universo *es* también el espacio. Es la totalidad la que crece, y lo hace sin relación a nada mayor.

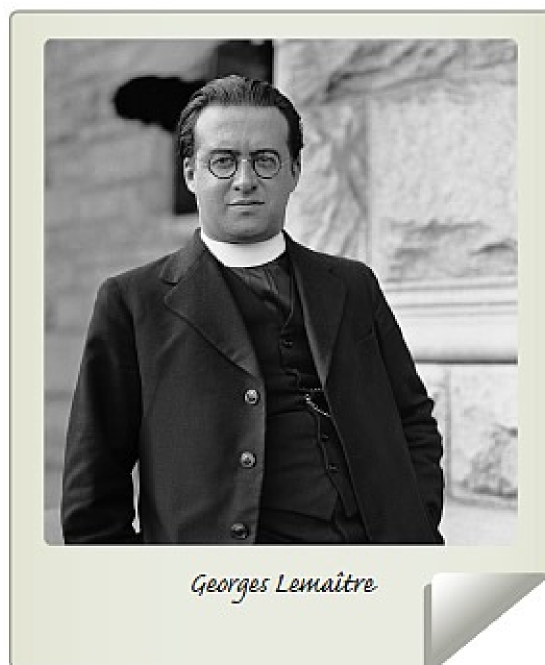
Friedman envió una carta a Einstein contándole su asombroso descubrimiento, pero el autor de la relatividad no le prestó demasiada atención. Incluso en un par de ocasiones se mostró molesto con el ruso, a quien aconsejó que repasara mejor sus cálculos porque aquello no podía ser.

Para Einstein, era algo obvio que el universo era estable, ni crecía ni menguaba. Su idea del universo estático era una cuestión de fe, en la que la ciencia no tenía demasiado que ver. La sensación que le generaba el hecho de imaginar un cosmos perfecto e inmutable era superior a cualquier otra consideración. Y ahora venía un desconocido físico ruso para decirle que su propia teoría de la relatividad implicaba un universo que se hacía cada vez mayor. Tal vez eso era lo que más le molestaba: que fuera el mismo trabajo que él había realizado el que pudiera sugerir algo tan alejado de sus preferencias personales sobre el cosmos. Su «no» fue rotundo.

¿Quién tenía razón, Friedman o Einstein? ¿El universo se está haciendo cada vez más grande o eso es una perfecta barbaridad? Antes de darte la respuesta, quiero presentarte a un simpatiquísimo sacerdote católico.

¿Cómo empezó todo esto?

Cuando Einstein estaba escribiendo su teoría de la relatividad, jugaba en Bélgica un niño de once años llamado Georges. Era profundamente inteligente, algo que advirtieron sus padres de manera inmediata, aunque sin llegar a imaginar que acabaría convirtiéndose en la primera persona en proponer, de modo científico, una teoría coherente sobre el origen del universo.


Georges Lemaître

Georges, cuyo apellido era Lemaître, tenía dos pasiones muy equilibradas: el catolicismo y la ciencia. Dudaba de si convertirse en cura o en científico, hasta que un buen día decidió que no tenía por qué elegir y que podría ser ambas cosas. Y eso es lo que ocurrió. En 1920 se doctoró en física y tres años después se ordenó sacerdote.

Las ironías de la ciencia son magníficas, porque resulta que un ruso y un católico llegaron a la misma conclusión en un tema de importancia fundamental. En efecto, Lemaître y Friedman, por separado y basándose en las matemáticas de la relatividad, aseguraron que el universo se tenía que estar haciendo grande.

El sacerdote Georges podría haber publicado su teoría, como hizo Friedman, pero él decidió darle un par de vueltas más. Pensó seriamente en las implicaciones de su hipótesis y llegó a la conclusión siguiente: si el universo se está haciendo cada vez más grande, si el espacio y el tiempo se agigantan, podemos hacer un ejercicio hacia atrás para imaginar cómo era en el pasado. Se trata sólo de retroceder temporalmente. Si está creciendo, significa que antes era más pequeño. Es algo de una lógica tremenda. Y si vamos hacia atrás en el tiempo, cada vez más, llegaremos a un universo extremadamente pequeño. Pero no hay motivo para pararse ahí. Lo pequeño puede convertirse en muy pequeño, tanto que no pudiera serlo más. De esta manera, Georges Lemaître llegó a la conclusión de que, hace muchísimos millones de años, el universo era infinitamente pequeño y, a partir de ahí, empezó a crecer. Esto se parece sospechosamente a un inicio, a una creación. Y ésa fue la conclusión a la que llegó Georges. Hizo sus cálculos, basándose en la teoría de Einstein, y afirmó que la creación había tenido lugar hacía 15.000 millones de años. En aquella lejanísima época, todo lo que ahora vemos, todas las galaxias, todas las estrellas, toda la materia de la que está formado el cosmos, estaba concentrado en un punto angustiosamente diminuto al que él llamó *átomo cósmico*.

Me imagino al sacerdote Georges Lemaître dividido en dos, entre el optimismo y el pesimismo. Por un lado, sus creencias religiosas se veían confirmadas —hubo efectivamente una creación, debió de pensar—, pero eso suponía desechar la versión que de esa misma creación se da en la Biblia. Si pensamos un poco, no nos cuesta demasiado trabajo deducir que ganó su parte optimista.

Cuando Lemaître publicó su teoría, los físicos no se lo tomaron demasiado en serio. Hasta entonces, las hipótesis acerca de la creación no eran tenidas en cuenta desde un punto de vista científico. Aquello era propio de la mística y la religión. Sin duda, el hecho de ser un sacerdote no fue algo que lo beneficiara. Todos sospechaban que su insistencia en demostrar que hubo una creación era una estrategia para colarnos que hubo un creador. Muchos empezaron a burlarse de él, llamando socarronamente a su hipótesis *Big Bang Theory*, la teoría de la gran explosión.

Pero las burlas comenzaron a llegar a su fin cuando un astrónomo de mal carácter y cuerpo atlético vio algo muy raro a través de su gigantesco telescopio.

Pero ¿qué está pasando aquí?

A pesar de su aspecto, este hombre no fue un campeón olímpico, aunque es cierto que hizo sus pinitos como atleta. En su juventud se aficionó mucho al boxeo, y al parecer era espectacularmente bueno propinando puñetazos a sus contrincantes. Adoraba cuidarse y tenía fama de ser bastante presumido. Se gustaba mucho a sí mismo y no era para nada simpático con sus semejantes. Por decirlo de un modo rápido, Edwin Hubble era un creído, algo rotundamente espantoso aunque uno crea que tiene sobrados motivos para serlo.



Edwin Hubble

Pero no nos dejemos condicionar por su carácter y fijémonos sólo en su aportación científica. Deberíamos ser siempre así con todos los profesionales, independientemente del área que ocupen. Además, seguro que si lo hubiéramos tratado íntimamente habríamos descubierto que, en el fondo, tampoco era un mal tipo.

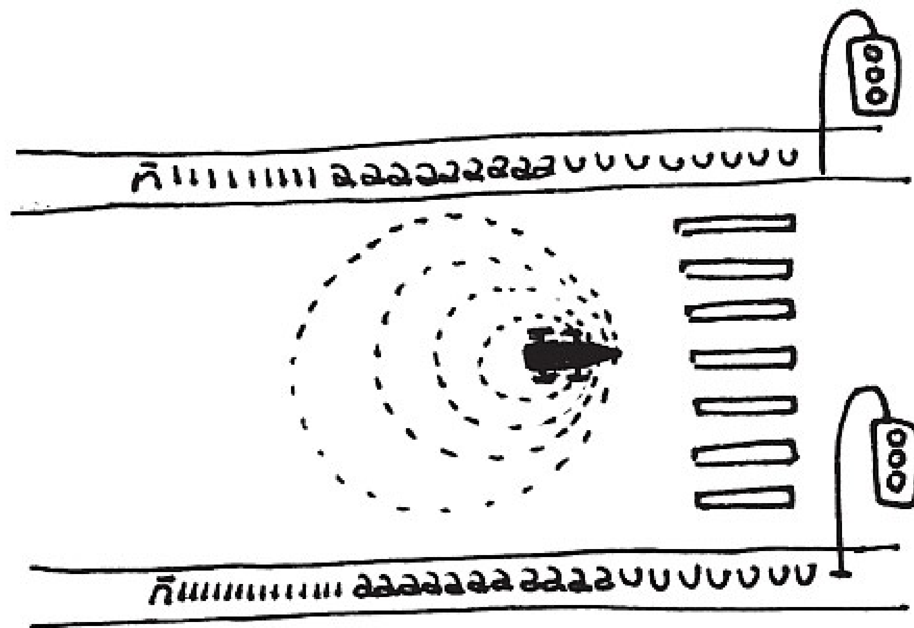
Hubble, a partir de 1919, trabajó como astrónomo en el observatorio del Monte Wilson, en California. Una de sus grandes aportaciones a la ciencia fue la de confirmar, sin posibilidad de error, que los hermanos Herschel estaban en lo cierto al suponer que el universo entero estaba repleto de galaxias. Hasta ese momento, sólo podíamos confiar en la existencia de la Vía Láctea. De repente, el universo se ensanchó de manera extraordinaria. Y, como ahora verás, no sólo en un sentido figurado.

Una buena noche, Hubble empezó a observar el cielo con su potente telescopio y observó cosas que parecían no tener una explicación razonable. Notó que todas las galaxias se estaban alejando de la Tierra. Antes que él, otro astrónomo americano llamado Vesto Slipher había detectado algo similar respecto a ciertas estrellas, pero se trató de un trabajo inacabado que, por ello, pasó algo desapercibido.

¿Cómo puede saberse a través de un telescopio que una galaxia se aleja? Están demasiado lejos como para apreciar sus cambios de posición. ¿Cómo se percató Hubble? Para entenderlo hemos de hacer un pequeño paréntesis en el que te pido que te imagines a ti mismo en una acera, esperando a que cambie el semáforo para cruzar.

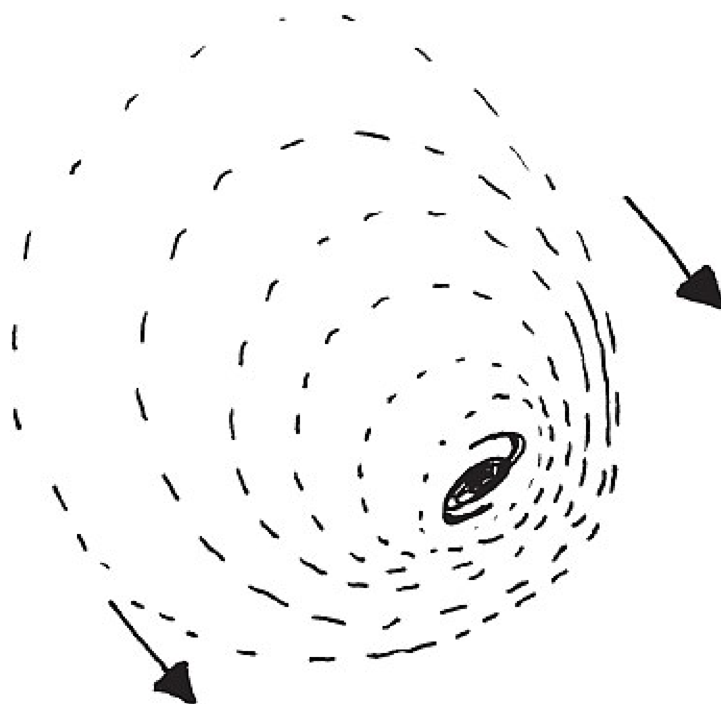
Los coches circulan. Los ves venir por la derecha y largarse luego por la izquierda. Cuando pasan justo delante de ti, notas que el sonido que hacen cambia. Jugamos a imitarlos desde que somos pequeños, cuando movemos con nuestra mano un coche de juguete. Con la boca hacemos «ñiiiiiiaaaaauuuuuuuuuuu», imitando el ruido que hacen los vehículos cuando pasan a toda velocidad cerca de nosotros.

Cuando vienen suenan «ñiiiiiiiiii»; al estar delante de nosotros, hacen «aaaaaaa», y al alejarse los escuchamos emitiendo un «uuuuuuuu». Ése es el famoso «ñiiiiiiaaaaauuuuuuuuuuuu» que todos hemos hecho cuando éramos pequeños.



Ese cambio de sonido se denomina *efecto Doppler*. Es muy fácil de entender si visualizamos la onda de sonido que hace el coche cuando avanza. La parte de atrás tiene las ondas más amplias y la de delante, más contraídas. Como el coche va de izquierda a derecha, las ondas delanteras se acortan porque el vehículo las va pillando, y las de la izquierda, al dejarlas atrás, se van espaciando.

Bien, este fenómeno no sólo ocurre con las ondas de sonido. Las de luz están sometidas al mismo efecto. La diferencia es que las ondas luminosas no se escuchan, pero por fortuna pueden verse. La luz también tiene su propio «ñiiiiiiaaaaauuuuuuuuuuuu» visual. Cuando un objeto viaja a grandes velocidades, las ondas luminosas parecen comportarse como lo hacían las sonoras en el coche del dibujo anterior.



Las ondas más cortas de la derecha tienen un color azulado, mientras que las de la izquierda, más amplias, un color rojizo. De este modo es fácil saber si una galaxia se aleja o se acerca. Si su luz es rojiza, se está alejando; si es azulada, se está acercando.

Hubble, nuestro atlético astrónomo, observó desde su potente telescopio del Monte Wilson que todas las galaxias tenían un aspecto rojizo. Es decir: todas ellas se estaban alejando de nosotros.

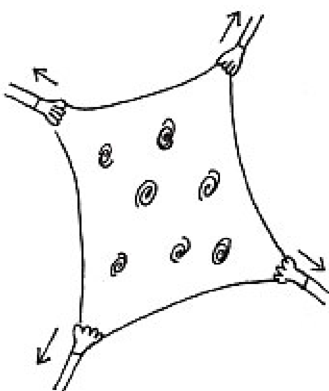
Pero eso es muy raro. ¿Por qué huyen? ¿Por qué se van todas? Es como si estuviéramos en el centro del universo y todas las galaxias se hubieran puesto de acuerdo para abandonarnos. Todo resultó ser asombrosamente extraño. Lo normal hubiera sido que algunas se acercaran, otras se alejaran y algunas permanecieran quietas. Así suelen ser las cosas estadísticamente. El hecho de comprobar que la totalidad del cosmos escapa de nosotros produce cierto vértigo. ¿Cuál era la razón?

De nuevo, los locos y rezagados partidarios del geocentrismo empezaron a dar brincos de alegría. La ciencia moderna no paraba de darles motivos para su felicidad. Primero, el experimento de Michelson y Morley les hizo creer que volvían a estar en el centro mismo del cosmos, y ahora la confirmación de que todas las galaxias se alejaban de nosotros sólo podía ser explicada por el mismo motivo. Es como si estuviéramos en el mismísimo centro del universo y el resto del cosmos nos tuviera miedo, tomando la decisión de alejarse de nosotros para dejarnos solos. No hace falta ser un científico de primera línea para desechar esta ridícula hipótesis.

Para comprender la explicación real, tienes que volver a pensar en Einstein y en su universo de cuatro dimensiones. Antes te he hecho un gráfico de coordenadas que representaba ese espacio-tiempo. Ahora vamos a imaginar algo similar, pero sin necesidad de poner las antipáticas coordenadas. Sólo imagina una hoja de papel extraordinariamente fina puesta encima de una mesa. Ese papel representa todo el

universo. Ahora coge un lápiz y dibuja en él galaxias. No importa si no te quedan demasiado realistas, porque se trata exclusivamente de un ejercicio destinado a entender lo que Hubble vio por su telescopio.

Ahora supón que esa hoja no es de papel, sino de algún material elástico. Un montón de personas empiezan a tirar de ella, cada una por un extremo, como enanitos alrededor de una gigantesca sábana.



En seguida comprobarás que esa hoja elástica se va haciendo cada vez más grande. Las galaxias que has dibujado empiezan a separarse unas de otras. Elige una de ellas al azar, cualquiera. Desde el punto de vista de la que has escogido, todas las demás se alejarán de ella, dejándola sola y abandonada.

La única explicación coherente que da respuesta al hecho de que todas las galaxias se alejen unas de otras es imaginar que es el propio espacio el que se ensancha. Las galaxias se alejan unas de otras no porque tengan un motor que las haga viajar muy deprisa, sino porque el espacio entre ellas se va haciendo cada vez mayor.

La aportación de Einstein, esa que nos desvela un espacio flexible capaz de combarse en presencia de la masa, permite también que éste pueda ensancharse. Es una hipótesis coherente con la relatividad general. Lo que Hubble había visto podía explicarse suponiendo que el universo se expande. Y si se expande significa que, al retroceder en el tiempo, lo veríamos más pequeño. Cada vez más pequeño hasta que...

Un momento. ¿No era esto mismo lo que había afirmado el sacerdote belga del que todo el mundo parecía reírse? Lemaître, objeto de burlas, empezó a ser tomado en serio, y hoy día es considerado no como *el padre Big Bang*, sino como el padre *del* Big Bang.

Desde entonces, la idea de que el universo tuvo un comienzo fue un asunto tratado con seriedad por la ciencia. Hasta ese momento, se daba por hecho que era infinito y eterno, que no tuvo principio ni tendrá fin. El átomo cósmico de Lemaître nos hizo ver la realidad de otra manera, y a partir de ahí ya no volverá a ser la misma.

Pero ¿qué significa que el universo tuvo un comienzo? ¿Qué había antes? Todos los físicos del mundo adoran que se les formule esta pregunta, porque eso les permite chulear respondiendo al instante: «No había un antes, porque el mismo tiempo fue creado junto con todo lo demás.»

De nuevo nos será útil volver al ejemplo de la hoja de papel elástica, el de la sábana tirada por enanitos. Ahora, en vez de imaginar que el papel se está ensanchando, imaginemos que éste se está empequeñeciendo, cada vez más, hasta desaparecer por completo. En esta ocasión, la superficie de la hoja no representa sólo el espacio, sino el espacio-tiempo, el tejido (a los físicos les encanta decir «tejido») que forma la estructura del universo. Cuando ese tejido se contrae, también lo hace el tiempo, puesto que forma parte de él. Si se hace tan pequeño que desaparece, se esfuma a su vez el tiempo y, por tanto, ya no tiene sentido hablar de «antes». No hay «antes» ni «después» ni «durante» cuando no existe el tiempo.

Ésta es una de las respuestas que da la ciencia a la enigmática pregunta de qué diablos había antes del origen del universo. Algunos científicos parecen dar el tema por zanjado en este punto, manifestando una cierta sensación de haber finalizado su trabajo al haber hallado por fin una explicación razonable. Otros, sin embargo, sienten lo que podríamos llamar *el estupor del porqué*. Personalmente simpatizo mucho más con estos últimos, pero de todo ello hablaremos un poquito más adelante. Ahora, después de habernos paseado por el gigantesco cosmos, debemos regresar, tal como te prometí, a la historia de la mecánica cuántica, a la que habíamos dejado prácticamente en la cuna.

El mundo cuántico después de Planck

Todo se complicó muchísimo desde que dejamos este asunto unas páginas atrás. Recordarás que Einstein, en su explicación del efecto fotoeléctrico, nos dijo que la luz estaba compuesta por pequeñas partículas: los famosísimos fotones, como ahora los conocemos. Esto terminaba de dar la razón a Max Planck cuando nos ofreció su extrañísima idea de los paquetes de energía. En efecto, los fotones eran paquetitos energéticos que viajaban a 300.000 kilómetros por segundo.

Einstein sabía, claro está, que la luz se manifestaba también como una onda, y jamás fue su intención que dejara de comportarse como tal. Todos los experimentos lo demostraban, y si había algo que él no podía cuestionar era el resultado innegable de un experimento. Y fue esta actitud de no rechazar la naturaleza ondulatoria de la luz lo que provocó que las cosas quedaran irremediablemente patas arriba, porque, ¿cómo algo puede ser, al mismo tiempo, una onda y una partícula? Una piedra es una piedra y una onda es una onda. Ya sé que esto te parecerá una solemne tontería, pero en ocasiones las afirmaciones obvias son las que más dificultades nos generan.

Una ola del mar es un buen ejemplo de onda. Su movimiento contagia el agua que un instante antes estaba quieta y se forma otra cresta totalmente nueva que a su vez provoca el movimiento de otra parte antes calmada. De esta manera, se van construyendo esas magníficas estructuras sobre las que algunos seres humanos practican *surf* insólitamente. Si tú estás en la playa y ves el mar embravecido, sabes

que estás viendo olas. Si en ese momento alguien te dijera que esas olas que tienes delante son, de un modo que no puede explicarte muy bien, una especie de partículas, tú pensarías que te está tomando el pelo o que se ha vuelto loco de remate.

Pues bien, eso es más o menos lo que le pasó a Einstein cuando aventuró que la luz, considerada hasta entonces una onda, era también un admirable conjunto de partículas individuales. La comunidad científica se sintió como un niño que mira unas olas del mar mientras un loco le dice que en verdad está contemplando piedras. Les pareció que la realidad se deshacía, que todo lo que antes era sólido dejaba irremediablemente de serlo. Las conclusiones de Einstein eran perfectas, no tenían fisuras. La existencia de los fotones era la única explicación posible a muchos fenómenos observados. La luz, como la materia, estaba compuesta por pequeños átomos luminosos, partículas indivisibles. Durante un tiempo, todos desearon que, al menos, pudiera demostrarse que la luz no fuera entonces una onda, porque nada podía ser dos cosas a la vez. Una partícula ocupa una posición definida en el espacio, mientras que una onda es un fenómeno disperso, difuso. Tú podrías señalar dónde está exactamente una piedra, pero serías incapaz de hacer lo propio con las olas del mar. Por su misma naturaleza, las ondas son dinámicas, su misma esencia es el cambio. Pensar que la luz es una onda y al mismo tiempo una partícula resultaba una auténtica locura, algo que violaba las leyes de la lógica y que atentaba rotundamente contra el sentido común. Algo no puede ser dos cosas a la vez.

¿Sería posible, por tanto, quitarnos de la cabeza que la luz fuese una onda? Eso solucionaría el problema, aunque por desgracia ya era demasiado tarde para hacerlo.

Para que lo entiendas, has de retroceder unos años en el tiempo y conocer a un tipo curioso que combinaba su amor a la física por un interés extraordinario por el descifrado de jeroglíficos egipcios.

Thomas Young, al igual que John Dalton, era un cuáquero, aunque ostensiblemente más descreído. Siendo muy joven aprendió griego, latín, hebreo y, en general, todas las lenguas, vivas o muertas, que se iba proponiendo. Estudió también medicina, aunque al final terminó dedicándose a la física. Eso, sin embargo, no le hizo olvidar su verdadero amor: los jeroglíficos. Cuando todavía era un muchacho, quedó fascinado con la famosa piedra de Rosseta, la enigmática inscripción en tres lenguas distintas que finalmente logró descifrar Jean Renoir Champollion.

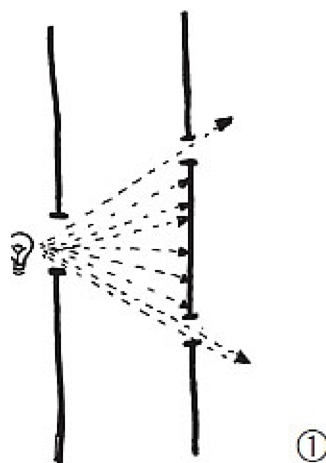


Sin embargo, Young ha pasado a la historia de la ciencia por su llamado *experimento de la doble rendija*. Te lo cuento ahora por un motivo que, como su inquietante nombre, también es doble. Por un lado, lo hago para que entiendas lo imposible que era rechazar la idea de que la luz era una onda, pero también con el objeto de prepararte para dar, dentro de muy poco, un salto espectacular.

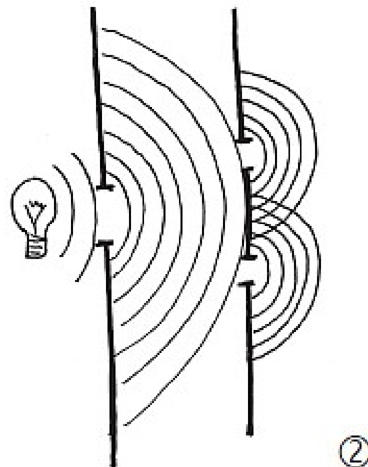
Sitúate. Terminaba el siglo XVIII y empezaba el XIX. Goya estaba pintando *La maja desnuda*. Una duquesa en cueros, cuyo cuerpo no estaba nada mal, posaba delante del pintor mientras que a unos tres mil kilómetros de allí ocurría algo en apariencia menos excitante: Young se disponía a hacer una rarísima demostración en la Royal Society de Londres.

Nuestro amigo hizo pasar la luz a través de dos agujeros. Al salir por ambos, podían pasar dos cosas.

Si la luz estaba compuesta por partículas, al otro lado de los agujeros se verían sólo dos zonas iluminadas (dibujo 1). Parece perfectamente razonable.



Pero si la luz era una onda, al otro extremo aparecería lo que se conoce como una interferencia (dibujo 2). Los circulitos que ves a la izquierda representan la onda de luz. Si seguimos haciendo el paralelismo con las olas del mar, podemos decir que las líneas son las crestas y el espacio entre ellas, los valles. Al otro lado de los dos agujeros, al salir luz de ellos, vuelven a generarse dos ondas, cada una de ellas con sus valles y crestas. Hay una zona en la que coinciden, se mezclan. A eso es a lo que se llama *interferencia*.



Pues bien, aquel día, mientras Goya tenía en mente un par de pechos medianamente dotados, los científicos de la Royal Society vieron que la opción correcta era la segunda. Se producían interferencias. La luz, sin ningún género de dudas, era una onda.



Los resultados de ese experimento eran innegables y lo seguían siendo cuando Einstein, valiente como era, sugirió y demostró matemáticamente —también de un modo innegable— que la luz estaba hecha de partículas. Era hora, pues, de reconocer las cosas. Costara lo que costase, había que dar un giro a la concepción que se tenía de

la realidad. Algo podía ser dos cosas a la vez. Era duro, raro, insólito, pero teníamos que aceptarlo aunque no pudiéramos entenderlo en absoluto. La ciencia iba varios pasos por delante del sentido común.

Ulises, es muy probable que estés despistado. No te preocupes si notas que te cuesta entender lo que te estoy contando. De hecho, te confieso que yo tampoco lo entiendo. En realidad, nadie puede hacerlo. No existe un ser humano capaz de imaginar algo que sea, al mismo tiempo, una onda y una partícula. Al igual que la existencia de la cuarta dimensión temporal, *la dualidad onda-partícula* —como ahora se la conoce— es algo que sobrepasa la capacidad imaginativa de nuestro cerebro. Pero eso le da exactamente igual al universo. Él no está aquí para que podamos encerrarlo en nuestra cabeza; sólo está.

Durante muchísimo tiempo, la imaginación humana era aquello que más lejos podía llegar. La relatividad y la mecánica cuántica nos han demostrado que existe algo que puede superarla: la misma esencia de la realidad. Por suerte, tenemos una muleta magnífica que nos ayuda para poder concebir la naturaleza: la ciencia. Ella nos permite descubrir cosas que a la imaginación le resultan imposibles.

Y hablando de imaginación, te voy a contar lo que podría haber sido un precioso cuento de hadas pero que acabó convirtiéndose en algo muchísimo más interesante.

La historia de un príncipe

Él vivía en un castillo. Lo tenía todo. Recibía mimos de la mañana a la noche. Era un niño guapo y listo. Y si lo era objetivamente, imagina cómo lo verían en su casa. Se llamaba Louis de Broglie, aunque su nombre completo era Louis Victor Pierre Raymond de Broglie. Resulta algo largo, pero las familias con fortuna suelen ser bastante generosas respecto a las longitudes onomásticas. Además, él tenía el título de príncipe. Sus padres pertenecían a la aristocracia más selecta de Francia y poseían más dinero del que podrían gastar en cuatrocientas cincuenta vidas.


Louis de Broglie

El chaval, por tanto, podría haberse relajado, disfrutar de sus palacios y descansar sin hacer nada hasta que le llegara la muerte siendo un anciano, pero era tremendamente inquieto. Estudió la historia de Francia, algo que sin duda le serviría bastante si terminaba haciendo caso a sus padres y se convertía en todo un diplomático, pero había algo que le gustaba más que codearse con la nobleza: el universo.

Así que decidió estudiar física en la mejor universidad que encontró y pasó el resto de su existencia rodeado de ecuaciones matemáticas.

De Broglie quedó estupefacto, como tú, con el hecho de que la luz fuera, al mismo tiempo, una onda y una partícula. Otro en su lugar se hubiera quedado en ese pasmo, disfrutando del misterio que rodea la realidad, pero él era valiente y decidió dar un paso más.

Un buen día tuvo una feliz ocurrencia. Pensó que si las ondas —como la luz— pueden ser partículas, ¿por qué las partículas no podían ser ondas? Hay algo de belleza simétrica en esa propuesta atrevida. Así que empezó a hacer cálculos y vio que no se trataba, en absoluto, de ninguna tontería.

Pero ¿qué significa que una partícula sea una onda? Un electrón, por ejemplo, esa cosa rara que, según nuestro viejo amigo Rutherford, gira alrededor del núcleo atómico, es claramente una partícula. ¿Insinuaba el príncipe De Broglie que era también una onda? Esa idea no gustó mucho al principio, porque, en vez de simplificar las cosas, las confundía muchísimo más. Ya teníamos bastante con la dualidad onda-fotón como para dar la bienvenida ahora a la dualidad onda-electrón.

Pero las matemáticas que empleó el rico habitante del castillo eran impecables. Además, si ya hemos dado por supuesto que la realidad es rara, ¿qué más da que lo sea un poco más?

Pensarás, no obstante, que una teoría basada sólo en las matemáticas y en algo tan difuso como «la belleza de la simetría» no debe considerarse cierta así como así. Y tienes toda la razón. Hay que hacer, como sabes, experimentos que la confirmen.

Y llegó un experimento. ¿Imaginas cómo fue? Piensa un poco. Intencionadamente, te he contado hace unas pocas líneas algo que, siguiendo el rigor de la cronología histórica, tendría que haberte explicado mucho antes (como habrás advertido, Ulises, me encantan los saltos históricos). Me refiero al experimento de la doble rendija de Young. Ese experimento demostró que la luz era una onda. ¿Vas cayendo en la cuenta?

Si Young demostró que la luz era una onda, ¿por qué no utilizar un experimento similar para demostrar —o desmentir— que un electrón también lo es? En efecto, eso es lo que se hizo.

Al igual que había hecho Young con la luz, se hizo pasar un haz de electrones y se colocó delante de una pared con dos orificios. Al fondo, una placa fotográfica quedaría marcada con el impacto de los electrones. Si éstos eran partículas se verían impactados al fondo, pero si fueran ondas se produciría aquella famosa interferencia que ya viste en el dibujo que te hice cuatro página atrás.

Y resultó que el millonario príncipe tenía razón. Los electrones se comportaron como si fueran ondas. Era como para volverse loco. El electrón, uno de los constituyentes fundamentales de la materia, va y resulta que no es materia. Ahora parece que es una onda. Pero muchos otros experimentos demostraban que era una partícula. De nuevo la dualidad. Otra vez algo que era dos cosas a un tiempo.

Y ahora, Ulises, prepárate para lo más impresionante, porque estamos a punto de llegar a ello.

Un electrón es una onda. Muy bien. Pero también una partícula. Vale, es raro pero lo acepto. Como partícula, puedo coger una aisladamente y dirigirla hacia la pared de dos agujeros. Imaginemos que no choca contra la pared frontal. En ese caso, ¿qué pasará?

Como es una partícula, pueden pasar dos cosas:

1. Que atraviese el agujero de la derecha.
2. Que atraviese el agujero de la izquierda.

Pero, puesto que también es una onda, puede ocurrir lo siguiente:

3. Atravesará los dos agujeros a la vez.

Esto último no parece extraño. Una ola del mar choca contra un muro agujereado y de ambos orificios salen dos olitas pequeñas. Las ondas hacen esas cosas y no nos sorprendemos en absoluto por ello.

Y ahora haz un esfuerzo de imaginación y combina los puntos 1, 2 y 3. ¿A qué conclusión llegas? Si el electrón es, *a la vez*, una onda y una partícula, también se producirán, *a la vez*, todas las opciones. Las tres. ¿Y qué significa eso? Que todas son

verdaderas y que, por tanto, el electrón ha entrado por la derecha y por la izquierda, simultáneamente. Ahora ya estás preparado para la siguiente frase.

Una partícula puede estar en dos sitios a la vez.

En efecto, ésa es la conclusión lógica siguiendo los razonamientos anteriores. La dualidad onda-partícula lleva a considerar un universo en el que los objetos pueden ocupar, simultáneamente, distintas posiciones en el espacio.

Aunque suene muy raro, te sería posible, si fueras un electrón, estar al mismo tiempo en tu casa y en el parque.

De repente, el mundo se vino abajo. El experimento que hizo Young con la luz, aplicado ahora a los electrones para confirmar la hipótesis del millonario príncipe, provocó que todo en lo que creíamos con firmeza se evaporara de manera inmediata. Poco a poco se fueron ampliando las dualidades a todas las partículas. Todo aquello de lo que está hecha la materia puede ser considerado como una onda, y éstas siempre tienen la característica de no ocupar un lugar concreto. Las cosas que vemos, nuestros amigos, las sillas, los animales, las plantas, este libro que estás tocando con tus manos y también tus mismas manos, todo lo que nos rodea es, en última instancia, una nube indefinible, borrosa, una sustancia que no podemos llegar a imaginar, algo formado por partículas diminutas que son también ondas y que pueden estar en varios sitios al mismo tiempo.

¿Estás mareado, Ulises? ¿Te gustaba más la física de la primera parte de esta obra, esa que operaba en aquel antiguo mundo ordenado, fácil, nítido, perfectamente imaginable, regido por unas leyes transparentes y hermosas, aquel lugar lleno de conceptos manejables, de pesos precisos, de medidas exactas, de lugares y tiempos determinados? ¿Echas de menos lo comprensible que era la ciencia antes de la llegada de Max Planck, Einstein, el dichoso príncipe y esta colección de locos que lo pusieron todo patas arriba? Si es así, no te preocupes, porque creo que tengo la solución.

Pero ¿qué narices nos habíamos imaginado?

Ulises, probablemente todos nos hayamos vuelto locos. Sentir estupor, extrañeza por los descubrimientos de la mecánica cuántica, tal vez sea normal, pero si lo piensas bien denota que hemos perdido el juicio de manera quizá irrecuperable. ¿Por qué nos extrañamos? Nos parece rarísimo que un electrón pueda estar en dos lugares al mismo tiempo, pero ¿por qué debería inquietarnos ese hecho? Nos sorprende que algo sea una onda y a la vez una partícula, pero ¿cuál es la razón de esa sorpresa?

Pensarás que el único que se ha vuelto loco aquí soy yo. Intentaré explicarme, porque lo cierto es que me gustaría que siguieras pensando de mí que soy una persona medianamente estable. Cuando sugiero que tal vez no deberíamos extrañarnos por el mundo que describe la mecánica cuántica, quiero decir que no veo motivo para no

hacerlo también con el mundo que nos rodea. A mí, sinceramente, me parece igual de inquietante que un electrón pueda estar en dos lugares a la vez como el hecho de que la silla en la que estoy ahora sentado sólo pueda ocupar uno. Te lo digo de verdad, y creo que si cierras un momento los ojos y lo piensas, tú también tendrás esa ligera sensación, acompañada por un profundo vértigo.

Vivimos en un mundo, el nuestro, el que vemos, el de los objetos de tamaño normal, que funciona de un modo al que nos hemos acostumbrado. *La normalidad* con la que creemos que se producen todos los fenómenos se debe simplemente a *nuestro hábito*. No hay nada que nos sugiera que es normal todo aquello con lo que nos topamos a lo largo del día.

Pensamos que la mecánica cuántica describe fenómenos extraños, pero tenemos esa idea porque damos por supuesto, de forma errónea, que en el mundo cotidiano se producen otros fenómenos que, en contraste con los cuánticos, son perfectamente comprensibles. Pero me niego a pensar así, y creo honestamente que es la única forma de escapar a la locura que la nueva física puede generarnos. Sí, es rara. Sí, es inquietante. Sí, es extraña e insólita. ¡Claro, faltaría más! ¡Pero como también lo es el mundo que nos rodea!

La luz es una onda y una colección de partículas a la vez. Algo puede ser dos cosas al mismo tiempo. ¿Raro? Sí, mucho. Pero ¿no es acaso también raro que, en nuestra realidad cotidiana, algo *solamente* pueda ser una cosa al mismo tiempo? ¿No te parece extraño que un árbol *sólo* pueda ser un árbol, o una cloaca *exclusivamente* una cloaca?

La física del siglo XX nos extraña únicamente porque habíamos cometido el inmenso pecado de dejar de extrañarnos. Vivíamos en un mundo que creíamos conocer, lleno de certezas, y habíamos dejado de maravillarnos.

A Faraday, aquel chico humilde que trabajaba de encuadernador antes de revolucionar la ciencia de su tiempo, le aconsejaron cuando era joven que no se dedicara a la ciencia porque «ya estaba prácticamente todo descubierto». Ése es un buen ejemplo del tremendo error que cometimos, no sólo en el siglo XIX, sino desde que adquirimos la insólita costumbre de pensar sobre las cosas. Lo dimos todo por supuesto y nos negamos la posibilidad de maravillarnos continuamente.

La creación del universo es otro magnífico ejemplo de ello, aunque al menos aquí siempre estuvimos sorprendidos, con independencia de las hipótesis que manejáramos. Lo que resulta de verdad preocupante es que a todos nos dé ahora por extrañarnos al saber que, muy probablemente, todo esto que nos rodea surgió de una explosión que creó el espacio y el tiempo. ¿Acaso no era también extraordinario cuando dábamos por descontado que toda esta locura había existido desde siempre?

O piensa en el tiempo de Einstein, esa cosa rara que se curva a la que llamamos *cuarta dimensión*. ¿Por qué su flexibilidad ha de ser más extraña que la rigidez que hasta hace un siglo le otorgábamos? Si te vuelvo a ser sincero, te diré que a mí me resulta igualmente insólito tanto que el tiempo se ralentice en un objeto en movimiento como que no lo hiciera en absoluto. Lo que me inquieta es la mera existencia del tiempo. ¿Y qué decir de la contracción del tamaño de los objetos en función de su velocidad? Tan rara me resulta como el hecho de que mis zapatos midieran lo mismo

tanto si camino como si espero sentado en una butaca mientras miro una absurda película de romanos, porque lo que de verdad me llena de estupor hasta enloquecer es la simple existencia del espacio y las distancias. Y la de los romanos. En definitiva, la simple existencia de lo que sea.

Einstein se mostró contrario a las implicaciones de esa física cuántica que él mismo había empujado a nacer. Lo hizo cuando empezó a comprobar que el universo que describía era radicalmente distinto al que había imaginado desde siempre. Los cuerpos, para él, debían ocupar un lugar concreto en el espacio-tiempo, pero jamás dos, como nuestros misteriosos electrones que atraviesan simultáneamente los dos agujeros. No podía con ello ni, sobre todo, con otras implicaciones de lo cuántico que te contaré dentro de muy poco. Es una actitud que simboliza muy bien lo que te estoy explicando, esa forma de enfrentarse al mundo que tenemos todos, desde los genios como él hasta nosotros, meros espectadores de sus proezas. Pero tal vez deberíamos dejar de comportarnos así.

Por tanto, deja de sorprenderte sólo con la mitad del universo. Tienes un cosmos entero para hacerlo. Deja de ver exclusivamente misterio en la mecánica cuántica, porque también era enigmática la mecánica clásica y casi no nos dimos cuenta de ello. Tirar de un muelle, sujetarlo tres segundos y soltarlo para que empiece a mecerse arriba y abajo, armoniosamente, con suavidad, es tan rotundamente insólito como los bruscos cambios energéticos que debemos a los cuantos de energía. Todo es muy raro, Ulises, tremendamente raro, y hemos caído en el error de pensar que esa rareza la hemos descubierto ahora, hace muy poquito, gracias al mundo de la mecánica cuántica. Pero ya estaba antes. Ha estado siempre.

Además, hay algo en lo que deberías fijarte ahora que ya has aprendido algunas cosas sobre los objetos pequeños. Los seres humanos cometemos la torpeza de creer que lo más diminuto, de alguna manera, revela esencias de aquello que es más grande. Por eso creemos haber descubierto que el gigantesco universo *es raro* justo cuando hemos conocido que los diminutos electrones *lo son*. Pero piensa por un momento en un mundo al revés. Imagina que fuéramos seres del tamaño de un electrón. Para nosotros, sería perfectamente natural ser onda y partícula a la vez, así como entrar al mismo tiempo por dos puertas de edificios chiquititos. Supón ahora que nos da por estudiar cómo es el mundo gigante que hay por encima de nosotros. De manera inmediata, descubriríamos un lugar fantasmal para nosotros, un escenario donde sólo podemos ocupar una posición y en el que nuestra parte ondulatoria ha de dejar de estar unida a nuestro lado corpuscular porque una arbitraria y ridícula ley nos obliga a ser sólo una cosa.

Es otra forma de relatividad que debería ser estudiada también en las escuelas: toda rareza es relativa al tamaño del observador. Suena bien, y deberíamos tenerla en cuenta a la hora de calificar como raro cualquier comportamiento de la naturaleza que simplemente no hayamos visto nunca antes.

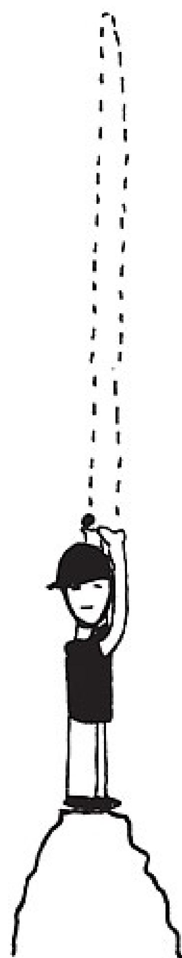
En seguida continuaré hablándote de otras profundas implicaciones de la mecánica cuántica. De hecho, falta lo mejor, te lo aseguro. Pero creo que después de haber estado tanto tiempo concentrados en objetos pequeñitos, sería bueno airearnos y volver a dar un paseo por el gigantesco cosmos.

Lanzar piedras al cielo

Es magnífico darse cuenta de que una actividad tan aparentemente estúpida como lanzar hacia arriba piedras pequeñas pueda ser la clave para entender algunos de los más escondidos secretos que guarda el universo.

Empezamos el libro lanzando piedras en sentido horizontal y gracias a ello aprendiste por qué la Luna gira alrededor de la Tierra. Si haciendo aquello revelamos algo magnífico, ¿por qué no vamos a conocer también un hecho impresionante lanzándolas hacia arriba?

Empecemos, pues.



Te he puesto un casco para que la piedra, al caer, no te dé contra la cabeza. Verás que has conseguido elevarla unos cuantos metros hacia arriba, pero irremediablemente ha regresado. Eso no cuesta demasiado entenderlo. Ahora supón que te conviertes de nuevo en el superhéroe que fuiste al principio del libro. La velocidad que le imprimes al proyectil es inmensa.

También ha vuelto a caer, y ahora con mucha más velocidad, por lo que el casco que he dibujado es algo más grande y protector. La cuestión que podemos plantearnos en este instante es la siguiente: ¿hay alguna velocidad a la que podamos tirar la piedra hacia arriba para conseguir que ésta no regrese jamás? Es una pregunta extraordinaria, y su respuesta nos ofrece la clave para entender la esencia de algunos fenómenos curiosos del universo. Esa velocidad existe, e incluso tiene un nombre. Los físicos la llaman *velocidad de escape*.

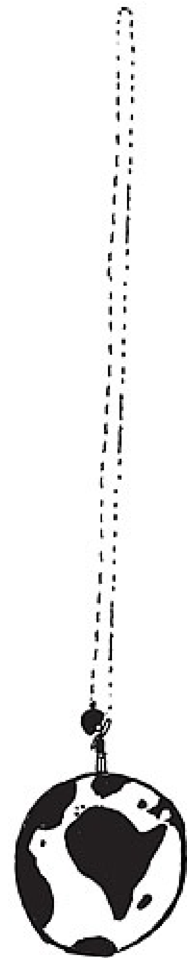
En nuestro planeta, la velocidad de escape es de aproximadamente 11 kilómetros por segundo. Eso significa que, si se lanza con fuerza cualquier cosa hacia arriba a esa velocidad —o a una velocidad superior—, jamás regresará a la Tierra. Continuará en línea recta hacia arriba sin que la gravedad de nuestro planeta pueda hacer nada por recuperarla.

Aristóteles, sin duda, hubiera sentido ligeras molestias al saber que esto es así. Su idea de que todo regresa al hogar antes o después se hubiera visto seriamente cuestionada. Pero la ciencia no tiene la obligación de satisfacer a los grandes filósofos del pasado. La velocidad de escape es un hecho incuestionable.

Esos 11 kilómetros por segundo necesarios para que nada regrese al suelo representan una velocidad aplicable sólo a nuestro planeta. Si la Tierra fuera más masiva, atraería a los objetos con más fuerza —recuerda la ley de Newton— y, por lo tanto, la velocidad de escape tendría que ser mayor. Podemos realizar un ejercicio de imaginación y especular sobre lo que ocurriría en planetas más grandes que el nuestro. Supón que vivimos en un mundo enorme, con una atracción gravitatoria fenomenal que requiera una velocidad de escape de, por ejemplo, 100 kilómetros por segundo. Y

nada nos impide ir más allá y aumentar todavía más la masa de nuestro planeta imaginario desde cuya superficie lanzamos piedras hacia arriba. ¿Qué tal un planeta con mucha masa cuya velocidad de escape fuera, pongamos por caso, 150.000 kilómetros por segundo? Ésa es una velocidad enorme, la mitad de la de la luz. En ese caso, sí que tendrías que ser un superhéroe enormemente poderoso para otorgarle a una piedrecita semejante velocidad. Pero podemos imaginarlo sin problema. Tus músculos son impresionantes y lo consigues. La piedra abandona el planeta ultramasivo y no regresa más.

Estamos a punto de llegar a un callejón sin salida, porque si continuamos aumentando la masa de nuestro mundo imaginario, podemos suponer que es tan enorme que la velocidad de escape sea de 300.001 kilómetros por segundo, la velocidad de la luz y un poquito más.



¿Qué pasaría entonces? Muy fácil: que la velocidad que tendríamos que aplicar a una piedra lanzada hacia arriba para que jamás regresara a nuestro masivo planeta sería la de la luz y un poquito más.

Pero, un momento, ¿no habíamos demostrado ya que ningún objeto puede viajar más rápido que la luz? En efecto, se trata de un límite de velocidad absoluto.

Por tanto, un planeta tan masivo como éste tendría una asombrosa cualidad: nada podría escapar de él. Todo regresaría a su superficie siempre.

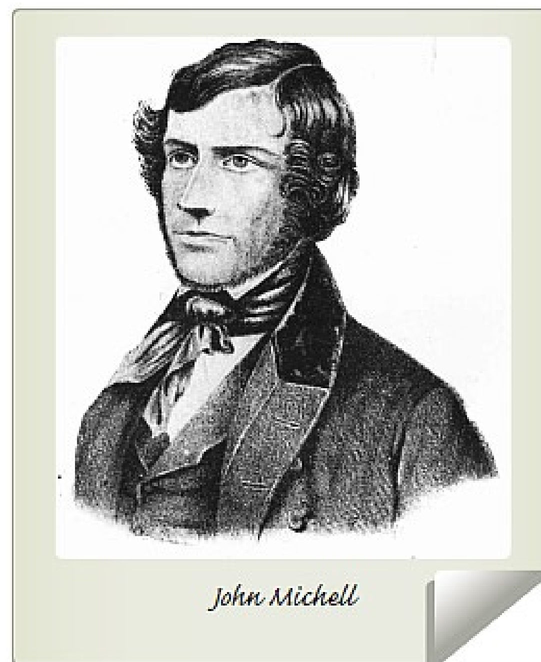
¿Cómo sería un planeta así? Vamos a suponer que lo tenemos muy lejos de la Tierra y que lo miramos a través de un telescopio. ¿Qué veríamos exactamente?

Para responder a esta pregunta sería bueno que reflexionaras acerca de lo que significa *ver*. Como ya sabes, ver un objeto implica que unos rayos de luz incidan sobre él, reboten y lleguen a tus ojos para que tu cerebro los convierta en una imagen. ¿Verías ese planeta tan masivo? Para que pudiéramos hacerlo, la luz tendría que llegar hasta él, rebotar y viajar hasta tus ojos. Pero antes hemos dicho que la velocidad de escape de ese mundo hipotético era un poquito más alta que la velocidad de la luz. Por tanto, para que los rayos incidieran sobre su superficie, rebotaran y regresaran a tus ojos, tendrían que salir de allí a la velocidad de escape. Y ahora sabemos que esa velocidad es superior a la de la luz. Por tanto, para que lo pudieras ver, la luz tendría que abandonar el planeta a una velocidad superior a la de la luz. La luz tendría que ir *más rápido que la luz*, lo cual es una contradicción. Conclusión: no podrías verlo jamás.

Un objeto tan masivo, capaz de no dejar escapar nada, ni siquiera la luz, sería perfectamente invisible para ti y para todo el mundo. Resultaría indistinguible del oscuro espacio vacío. Dicho de otro modo: sería negro, completamente negro. Los científicos tienen un nombre para esas cosas tan masivas. Les llaman *agujeros negros*.

El concepto *agujero negro* parece algo muy moderno. Su nombre nos evoca todo lo relacionado con los misterios de la nueva cosmología, pero en realidad su existencia ya fue sostenida por un muchacho que nació el día de Navidad del año 1724.

Se llamaba John Michell y ya desde pequeño tuvo una gran vocación religiosa. Acabó convirtiéndose en clérigo, cosa que no le impidió dedicarse a lo que más le gustaba: la geología, inventando incluso varios aparatos tremendamente útiles para medir los movimientos sísmicos.


John Michell

Michell admiraba mucho a Henry Cavendish, aquel científico tímido del que te hablé unas páginas atrás y que nos regaló la idea de que el universo, tal vez, está compuesto por muchísimos más elementos que los cuatro que barajaban los filósofos de la antigüedad. Como Cavendish no era un tipo especialmente sociable, las cartas eran un buen modo de comunicarse con el prójimo. A finales del siglo XVIII, Michell escribió a Cavendish una carta que representa un hito en la historia de la ciencia. En ella le hablaba de geología, de gravitación y de cuestiones por las que ambos hombres demostraban un profundo interés. En un momento determinado, Michell expone la posibilidad de que una estrella muy masiva pudiera tener tanta atracción gravitatoria que ni siquiera la luz escapara de ella. Serían unos cuerpos oscuros, invisibles a través de cualquier telescopio, puesto que ningún rayo de su luz nos llegaría. Todos serían devorados como si la estrella fuera un monstruo gigante.

Esta idea quedó guardada en el cajón de la ciencia porque todos los físicos de la época la consideraban imposible. Tuvieron que pasar muchísimos años hasta que, en 1968, un físico llamado John Wheeler acuñó el término *agujero negro* para los objetos que un desconocido geólogo del siglo XVIII había imaginado en soledad.



John Wheeler

Pero ¿existen?

Teorizar está muy bien, pero las hipótesis han de ser confirmadas por la dura realidad. Nuestra especulación acerca de la existencia de un cuerpo supermasivo que se tragara toda la luz podría quedarse en una mera conjetura si no hubiera ninguna confirmación experimental.

Para saber si esas cosas raras, tragadoras de todo, existen o no, hemos de volver a pensar en las estrellas.

Elige cualquier estrella y obsérvala con atención. No importa cuál, pero céntrate profundamente en ella. Aunque todas parecen de igual tamaño, si estuviéramos cerca veríamos que algunas son inmensamente mayores que otras. No todas tienen la misma masa. Nuestro Sol, por ejemplo, es una estrella mediana. Piensa por un momento en que la que has elegido es mucho más grande que el Sol, muchísimo más.

Imagina que es joven y que, por tanto, tiene mucho hidrógeno todavía para ir convirtiéndolo en helio. Borra mentalmente todas las demás y piensa en ella. Es un objeto lejanísimo e inmenso. Proyéctate hacia el futuro. El combustible se irá consumiendo y tu estrella se hará vieja. Llegará un momento en el que ya casi no quedará hidrógeno. La estrella que has elegido se apagará.

¿Y qué pasará luego? Aunque ya no pueda seguir convirtiendo hidrógeno en helio, su gran masa tendrá que continuar obedeciendo las leyes de la gravitación. Durante su juventud, era una estupenda esfera enorme que conservaba su tamaño porque había dos fuerzas que la mantenían en equilibrio. Por un lado, la fuerza de la gravedad intentaba comprimirla, ya que todos los átomos que la integraban eran atraídos hacia el centro, igual que las piedras de nuestro planeta tienen tendencia a ir al suelo. Si en su juventud no se comprimía era porque otra fuerza actuaba en sentido contrario: la fuerza nuclear, que la expande. El equilibrio de una estrella, la conservación de su tamaño durante toda su juventud, es un juego perfectamente calculado de estas dos fuerzas. Pero cuando envejece, desaparece la fuerza nuclear. Ya no hay combustible y entonces gana la gravedad. Y se contrae. En este punto pueden pasar varias cosas, dependiendo de la masa de la estrella, pero vamos a simplificar, saltándonos algunos pasos, y te diré que, si tiene una masa enorme, toda ella acabará concentrándose en un volumen diminuto con una densidad escalofriante. Su fuerza de atracción será enorme, mareantemente gigante. La velocidad de escape en su superficie será superior a la de la luz y, por tanto, se convertirá en un agujero negro.

Vuelve a mirar la estrella que has elegido. Su preciosa luz desaparecerá algún día. En su lugar, una zona oscura se tragará todo. Nada de lo que entre podrá salir jamás.

Utilizando las matemáticas que manejan con envidiable soltura los físicos, se llega irremediablemente a esta insólita conclusión. Muchas de las estrellas que vemos acabarán siendo agujeros negros. Eso hizo pensar que algunas estrellas muertas hace tiempo ya se habían convertido en monstruos tragadores de luz.

¿Cómo detectarlos? Por definición, no es posible verlos. ¿Habrá alguna forma de confirmar su existencia?

Durante muchísimo tiempo, los físicos buscaron estrellas muertas con mucho afán. Su existencia teórica parecía innegable. Sólo había que buscar un modo de localizarlas, una forma de rastrear el cielo que no implicara la visión, puesto que son invisibles.

Por fortuna, hay otros modos de ver que no pasan por nuestros ojos. El verbo *ver*, en ciencia, es distinto al que utilizamos en el día a día. Nunca hemos visto los átomos, por ejemplo, y pese a ello no negamos su realidad. Algo similar, pensaron los físicos, podría ocurrir con las estrellas convertidas en agujeros negros.

Una buena técnica para detectarlas podría consistir en observar estrellas vecinas. Los agujeros negros, aunque no puedan ser vistos, ejercen una intensísima atracción gravitatoria. Y, como ya sabes, cualquier cuerpo así influye en todo lo que hay alrededor. Imagina que mediante un potente telescopio se encuentra una estrella que parece comportarse de un modo rarísimo. Se mueve de una manera que no parece lógica. Una posible causa de su extrañísimo comportamiento sería la presencia en su cercanía de un agujero negro que alterase, con su potente gravedad, la natural trayectoria estelar. De este modo indirecto podríamos localizar agujeros negros sin necesidad de verlos.

Y eso es exactamente lo que ha ocurrido. Nadie ha visto un agujero negro, pero su existencia ha sido demostrada de modo indirecto en infinidad de ocasiones.

La valiente hipótesis de aquel geólogo que se carteaba con Cavendish ha sido confirmada por la ciencia.

Más sobre curvaturas

Desde Einstein ya nada volvió a ser lo que era. Hablar de agujeros negros en el siglo XVIII no puede ser igual que hacerlo ahora. La relatividad general demostró que los objetos masivos curvan la estructura del espacio-tiempo y eso es algo que debemos tener muy en cuenta cuando abordemos cualquier asunto que implique a la gravedad. Si la fuerza de atracción terrestre crea una de esas curvaturas, ¿qué provocará un agujero negro, cuya masa es impresionantemente mayor?

La respuesta que dan las ecuaciones matemáticas es tan clara como insólita: los agujeros negros podrían llegar a curvar tanto el espacio-tiempo que sería posible que la palabra *agujero*, que en principio era solamente alegórica, acabara siendo una descripción precisa de lo que ocurre en realidad. En efecto, un agujero negro podría ser una puerta hacia otro lugar del espacio-tiempo, un orificio que comunicara dos regiones distintas del universo.

Eso da pie a dos grupos de hipótesis. Uno de ellos es extraordinario, mientras que el otro es bastante tonto. El primero tiene que ver con la prospección hacia el futuro de nuestra especie. Es posible que dentro de muchos miles de años, la tecnología humana

sea capaz de utilizar esos agujeros para viajar de un lugar a otro del espacio sin necesidad de atravesar la distancia intermedia. Es una posibilidad lejana, pero nada en la ciencia impide que se convierta en una realidad. El otro conjunto de conjeturas tiene que ver con la extravagante costumbre humana de pensar sin tener en cuenta lo que la ciencia tiene que decirnos. En ese sentido, podemos escuchar comentarios desafortunados que relacionan los agujeros negros con puertas a otras dimensiones espirituales. Te aseguro que he llegado a leer auténticas barbaridades, como que los agujeros negros podrían ser la ventana abierta a la morada de Dios.

Siempre que la ciencia descubre algo que suena a misterioso —y los agujeros negros son en esto el objeto preferido—, la pseudociencia se lo apodera y empieza a crear fantasmas. Te hablaré de todo ello después. Ahora regresemos de nuevo a la mecánica cuántica.

Mundo borroso

La última vez que hablamos del átomo nos habíamos quedado en una imagen de él similar a nuestro sistema solar. Un núcleo central formado por protones y neutrones alrededor del cual giraban los electrones.

Cuando te presentaba ese átomo, todavía no sabías nada de la dualidad onda-partícula. Ahora que conoces ese rasgo de la naturaleza a escala pequeñita, hemos de volver pensar en el átomo, porque tal vez haya cambiado mucho desde nuestra última visita.

¿Qué has aprendido desde entonces? En primer lugar, que las partículas son también ondas. Eso complica mucho las cosas, porque ya no podemos imaginar bolitas diminutas que giran unas alrededor de otras. En su lugar, hemos de pensar en algo confuso, extraordinariamente borroso. Si pudiéramos hacernos pequeñitos y observar de cerca esos ladrillos de los que está hecha la materia, no sabríamos qué diablos estamos viendo.

Una de las cualidades de la ciencia moderna es que nos obliga a cambiar el significado de la palabra *comprender*. Durante siglos, comprender algo implicaba que éramos capaces de visualizarlo de alguna manera. Gran parte de nuestro proceso de pensamiento tiene que ver con la facultad que tenemos para representar aquello que estamos pensando de forma gráfica. Antes nos era maravillosamente fácil. La teoría de Newton sobre la gravitación universal podía ser imaginada cerrando los ojos. Éramos muy capaces de representar mentalmente inmensas bolas que interactuaban entre sí. No era preciso que viéramos una imagen del sistema solar para saber de lo que nos estaban hablando. Del mismo modo, cuando nuestro amigo Rutherford postuló que el átomo estaba formado por un núcleo central y unos electrones que giraban a su alrededor, pudo verlos en su mente sin que eso le causara ningún problema.

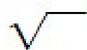
Ahora nos es imposible. Este cambio se inició, en realidad, con nuestra concepción de las distancias, hace ya muchos siglos. Cuando comprendimos que el universo es más grande de lo que podíamos concebir, surgió la primera grieta que empezó a separar la imaginación de la realidad. De repente entendimos que podíamos hablar de distancias, pero que no podíamos *sentirlas*. Es importante que entiendas lo que significa aquí el verbo *sentir*. Cuando tú y yo estamos caminando en dirección a un parque que está a cuatro manzanas de distancia, podemos sentir interiormente los metros que nos separan de los columpios. Estamos preparados para eso. Hemos evolucionado para concebir distancias cotidianas, pero en modo alguno para hacerlo con las cósmicas. Cuando los primeros científicos empezaron a tener claro que el Sol y la Luna estaban inquietantemente lejos, la ciencia empezó a separarse del sentido común.

Sin embargo, eso tuvo una solución bastante sencilla. Por suerte, los seres humanos somos capaces de crear mapas. Un mapa es una representación a escala de algo muchísimo mayor, y nos ayuda mucho a tener una idea medianamente clara de cómo es la realidad. Así, aunque no podamos *sentir* la distancia que nos separa del Sol, podemos dibujar una imagen a escala del sistema solar para lograr, de alguna manera, tranquilizar nuestra imaginación frustrada. Algo similar podemos hacer con el tamaño de las galaxias o la distancia que nos separa de las estrellas más lejanas. A pesar de nuestra imposibilidad de sentirlas, de meterlas en el pecho y oler la distancia real, sabemos de alguna manera de lo que estamos hablando. Si tienes claro lo que es un metro, sabrás lo que son cien mil millones de millones de trillones de metros, pese a que nadie jamás haya podido llegar a interiorizarlo.

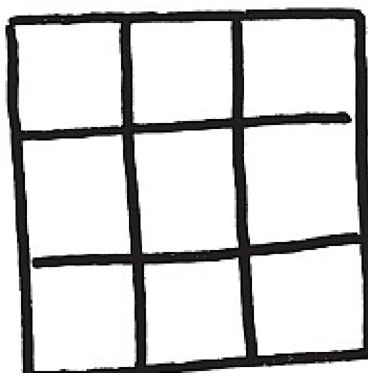
Esa primera brecha, por tanto, se solucionó con la creación de las representaciones a escala. Pero ahora estamos hablando de algo distinto. La imposibilidad de meternos dentro del cráneo la forma de un átomo para saborearla y disfrutar de ella es mucho más honda. Aquí las escalas no sirven. No podemos dibujar un átomo, aunque lo hagamos mucho más grande. Literalmente es imposible.

A falta de mapas para representar lo que la mecánica cuántica nos dice de esos elementos pequeñitos que forman la materia, los científicos tienen otra herramienta, menos gráfica pero infinitamente más poderosa: las matemáticas. Con ellas, las personas que se dedican a la física son capaces de captar el comportamiento de protones, neutrones y electrones. Descubren que éstos obedecen a la perfección determinadas leyes, y lo hacen de un modo que su comportamiento llega a resultar más o menos predecible. Las matemáticas, como sustitutas de los mapas, son imprescindibles para entender el mundo, aunque sigamos sin entender qué diablos significa *entender*.

Empleando esas matemáticas, los físicos pueden deducir cosas que la observación es incapaz de hacer. Te voy a poner un ejemplo inquietante. Para entenderlo, sólo has de tener claro lo que es una raíz cuadrada.



Puede resultar un símbolo antipático, como lo es casi todo lo que nos recuerda de algún modo la obligación escolar de estudiar, nos guste o no. Pero en realidad se trata de algo bastante sencillo. Mira este cuadrado.



Es un cuadrado que tiene dentro cuadraditos más pequeños. Concretamente, nueve de ellos. Antes ya hemos visto que ese número se obtiene sin necesidad de contarlos, simplemente multiplicando el número tres por sí mismo. Como cada lado tiene tres cuadraditos, simplemente hemos de multiplicar ese número por tres.

Pues bien, el proceso inverso, como sabes, se llama *raíz cuadrada*. Es decir, que la raíz cuadrada de 9 es 3, ya que 3 · 3 es 9. La raíz cuadrada de 81 es 9, puesto que 9 · 9 nos da 81.

Sólo una cosa más y te contaré una historia que tiene que ver con un descubrimiento genial en la mecánica cuántica que está relacionado con todo esto, ten un poco de paciencia.

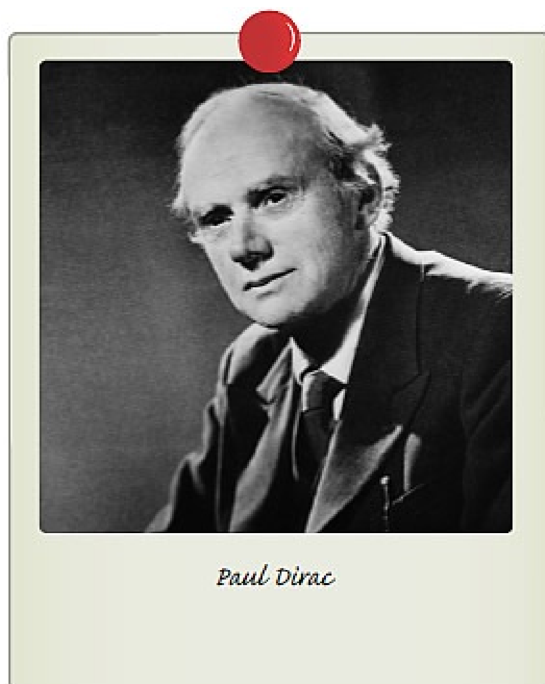
Sigamos. También hay números negativos. Por ejemplo, si al número 5 le restamos el número 8, obtenemos el número –3. Como el segundo era mayor que el primero, obtenemos un número negativo. Perdona si todas estas cosas ya las sabes, pero si te las cuento es para que entiendas que de algo tan sencillo puede extraerse una hipótesis espectacular sobre los átomos.

Terminemos este aburrido paréntesis matemático recordándote que, según las más elementales normas de la multiplicación, un número negativo multiplicado por uno positivo nos da otro número negativo. Dos números positivos multiplicados entre sí dan como resultado un número positivo, y dos números negativos que se multipliquen entre sí nos ofrecen otro número que también es positivo.

Esta última cualidad de los números influye de igual forma en la raíz cuadrada, ya que es la operación inversa a la multiplicación. De esta manera, la raíz cuadrada de 81 es, como te decía antes, 9, pero también –9. Ya que –9 multiplicado por –9 también es 81. Resumiendo, podemos decir que cualquier raíz cuadrada tiene dos resultados posibles: el positivo y el negativo. ¿Raíz cuadrada de 49? 7 y –7. Dos números.

Bien, con esto ya estás preparado para comprender el trabajo de un hombre excepcional, Paul Dirac, alguien que nos demuestra que las matemáticas son la mejor herramienta que tienen los físicos para entender la realidad.

Paul Dirac nació en Inglaterra en 1902, cuando Max Planck acababa de establecer las bases de la mecánica cuántica. Paul nunca habló mucho. Casi nada, en realidad. Se especula con la posibilidad de que tanto su padre como él padecieran un ligero autismo. Desde muy pequeño, era visto como un bicho raro por todo el mundo, incluidos, cómo no, sus profesores. No parecía muy listo, y su silencio se interpretaba de un modo erróneo.


Paul Dirac

Pero era inteligente a rabiar, y quienes lo conocían bien no dudaban de él. Empezó a interesarse profundamente por la física, aunque su tendencia al silencio permaneció intacta. Tanto es así que, entre sus colegas de profesión, empezó a correr la broma de que se había descubierto una nueva unidad mínima de palabras llamada *el Dirac*, el átomo de las palabras.

En cierta ocasión empezó a analizar con atención una fórmula matemática que describía el comportamiento del electrón. La ecuación estaba llena de símbolos, todos francamente raros, pero el que le llamó en especial la atención era el de la raíz cuadrada. Una raíz cuadrada allí metida, qué curioso. A casi todos les pasó desapercibido algo que hace un momento acabo de contarte: que toda raíz cuadrada tiene dos posibles soluciones.

Paul Dirac podría haber pasado por alto este hecho y creer que se trataba sólo de una curiosidad matemática que no tenía nada que ver con la naturaleza de la materia, pero no pudo dejar de dar vueltas al asunto y pensó: «¿Y si hubiera también, en esta ecuación, dos soluciones? Tenemos la solución positiva de la raíz cuadrada, pero ¿y si hubiera otra, la negativa?»

Dirac se tomó su propia pregunta muy en serio y empezó a especular sobre cuáles podrían ser las consecuencias de todo ello. Al instante llegó a una conclusión asombrosa: la raíz cuadrada en la fórmula del electrón demuestra que, además de la materia (positiva), también ha de existir la materia (negativa).

Paul Dirac acababa de descubrir, con la ayuda de una simple raíz cuadrada, la existencia de la antimateria.

La antimateria es otro de esos *fantasmas* que suelen gustar mucho a los amantes de lo esotérico. Tiene un nombre inquietante y a ese tipo de gente no hay nada que les guste más. La palabra sugiere, para quien no sepa nada sobre su origen, algo así como de otro mundo. Pero acabas de aprender cuáles fueron los pasos que llevaron a la formulación de su hipótesis y has visto que no hay nada especialmente misterioso. Todo surge de una raíz cuadrada. El prefijo *anti*- colocado antes de la palabra *materia* otorga una extraña cualidad que suele ser mal interpretada. La antimateria no es lo *contrario* de la materia, no es su negación. En realidad, se trata de materia real, detectable, perfectamente verificada, pero que tiene características inversas a la ordinaria. Un antielectrón es exactamente igual que un electrón, pero cargado positivamente y con algunas otras cualidades invertidas. Los físicos lo llaman *positrón*. Los amantes de la ciencia ficción le tienen mucho cariño a esa palabra, porque el gran escritor Isaac Asimov la utilizó mucho en sus escritos. Los robots que él imaginó tenían cerebros «positrónicos».

En el mundo real (signifique eso lo que signifique), cuando un electrón se encuentra con su antipartícula, el positrón, ambas desaparecen y en su lugar se crea energía. Tal vez en el futuro nuestras naves espaciales funcionen con antimateria. Una pequeñísima cantidad de ella, mezclada con materia común, es capaz de generar una elevadísima cantidad de energía. El descubrimiento de Dirac nos ofrece, pues, una ligera esperanza para nuestra salvación, cuando la energía del Sol se termine. Tal vez con naves impulsadas con antimateria podamos largarnos de aquí, en busca de un hogar más confortable.

La antimateria no es sólo una hipótesis matemática. Ha llegado a detectarse en unas modernísimas máquinas llamadas *aceleradores de partículas*, unos potentes artefactos con forma de tubo que miden varios kilómetros de largo, enterrados bajo tierra, dentro de los cuales se aceleran partículas subatómicas a muchísima velocidad, haciéndolas colisionar entre sí y generando en el choque otras partículas nuevas. La creación de materia mediante ese choque puede entenderse si recuerdas la famosa fórmula de Albert Einstein que nos decía que la energía y la masa son equivalentes. La tremenda energía cinética que las partículas adquieren cuando van muy rápido se convierte en materia nueva. Las partículas de antimateria han sido creadas así, en esos gigantescos laboratorios subterráneos.

Pensar en una raíz cuadrada de modo adecuado, sin prejuicios, valientemente, nos ofrece la posibilidad de deducir cómo es el mundo en el que vivimos. Sin las matemáticas veríamos mucho menos.

Como has podido detectar si has estado leyendo con algo de atención, voy saltando de lo cuántico a lo gigante, de lo muy pequeño a lo muy grande. Tal vez es una forma de intentar que no pierdas el interés. Por tanto, volvamos al enorme universo. Pero tranquilo, porque regresaremos a lo diminuto, y cuando lo hagamos te enseñaré el descubrimiento más espectacular que se ha hecho en el mundo de la mecánica cuántica.

Volver al Big Bang

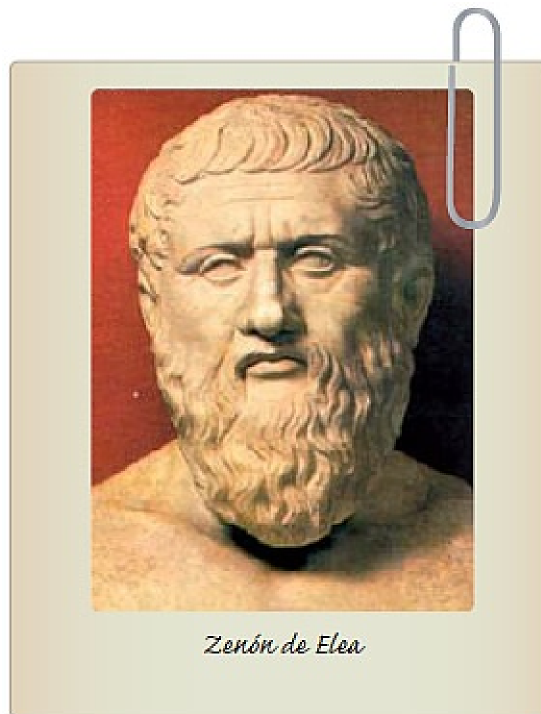
Nos habíamos quedado en los agujeros negros. Entendiste su esencia imaginándote que eras un lanzador de piedras verticales. Te conté que suelen aparecer tras la muerte de algunas estrellas masivas. Pero hay otros que se crearon hace muchísimo más tiempo. Los físicos los llaman *agujeros negros primordiales*. Me encanta cómo suena. La palabra *primordial* tiene un encanto que nos evoca cierta pureza, una suerte de característica inmaculada, blanca, original. Estos agujeros, se supone, fueron formados en los primeros tiempos de la aparición del universo.

Como recordarás, en la teoría del Big Bang se nos dice que absolutamente toda la materia del universo estaba concentrada en un minúsculo punto hace unos 13.700 millones de años. Cuando se inició la expansión, en el momento en el que el espacio era aún muy pequeño, grandes cantidades de materia empezaron a ejercer fuerzas de atracción entre sí. Como las cosas no estaban aún muy separadas, resultó fácil que se concentraran enormes cantidades de materia en regiones diminutas. Eso es algo fantástico si quieres convertirte en un agujero negro. Esos agujeros negros primordiales se crearían allí.

Pero la existencia de éstos —al igual que la de los que fueron formados tras la muerte de las estrellas masivas— ofrece un problema enorme, un inconveniente que tiene que ver con las matemáticas, esa tabla de salvación que en ocasiones puede convertirse en una tabla de tortura.

Cuando las matemáticas que se emplean en la física *tienen* un problema, es que *hay* un problema. Éste hace referencia al concepto de infinito, algo que no gusta nada a los físicos, porque sugiere cierta imprecisión, algo que en un universo coherente no puede tener cabida. Esta infinitud surge cuando se intenta llevar a las últimas consecuencias la historia de los agujeros negros. Si colapsan por su enorme fuerza gravitatoria, nada impide que continúen haciéndolo, llegando a ser cada vez más y más pequeñitos, hasta que al final su tamaño es cero y su fuerza, infinita.

El cero y el infinito. Dos conceptos incómodos. Hace unos 2.500 años, un genial filósofo llamado Zenón empezó a idear una serie de paradojas que incluían el concepto de infinito. Nada resultó más perturbador para sus colegas de profesión. Zenón había mostrado las tripas del pensamiento lógico, y lo cierto es que no tenían muy buena pinta.


Zenón de Elea

Este filósofo estaba intentando comprender de una manera total lo que era el movimiento. Para ello imaginó una carrera entre una lentísima tortuga y el rapidísimo héroe Aquiles. La tortuga salía con ventaja, pero la carrera era larga y resultaba evidente que el veloz Aquiles terminaría alcanzándola. Sin embargo, presentó a su vez esta paradoja: el filósofo nos dijo que, antes de que el humano atrapara al animal, tendría que recorrer la mitad de la distancia que lo separaba de nuestra amiga con caparazón. Una vez allí, todavía le quedaría esa mitad. Antes de llegar a la tortuga, por tanto, debería recorrer la mitad de ese camino, es decir, la mitad de la mitad de la distancia original que separaba a ambos competidores. Y, de nuevo, antes de alcanzar a la tortuga, faltaba la mitad de la mitad de la mitad. Y así hasta el infinito. La conclusión de Zenón es que jamás podría Aquiles alcanzar a la tortuga. Para recorrer *cualquier distancia*, antes hay que pasar por todos los puntos intermedios, ¡pero hay infinitos puntos intermedios! Y, por poco que estemos en cada uno de ellos, el tiempo necesario para estar en todos debe ser también infinito.

Muchos filósofos intentaron desmontar la paradoja de Zenón, con distinto éxito. Algunos proponían que el espacio no era continuo, sino que estaba formado por pequeños bloques (átomos de espacio). Esto podría ayudar a entender que el tiempo que tardamos en ir de un lugar a otro no sea infinito, puesto que tampoco son infinitos los puntos intermedios que separan las distancias. Pero generalmente se da por supuesto que la explicación más lógica es que el concepto de *infinito* es una creación matemática que no tiene por qué tener relación con la realidad.

Por tanto, si en la explicación de los agujeros negros aparece el concepto de infinito, es que algo no hemos entendido del todo bien.

Stephen Hawking, el primer científico vivo del que te hablo en este libro, está muy interesado en el tema de los agujeros negros. De hecho, durante muchísimo tiempo constituyó su principal tema de estudio y su deseo era, entre otras cosas,

despejar todas estas incómodas ideas.

Pero este embarazoso infinito no surge solamente cuando intentamos comprender los agujeros negros. Aparece también en el momento del origen del universo. Puedo explicártelo de un modo más o menos sencillo, aunque a cambio de la sencillez nos perderemos muchísimas cosas.

Aprendiste unas páginas atrás cómo se llegó a la conclusión de que el universo tuvo un origen al constatar que en la actualidad se está haciendo cada vez más grande. Rebobinando la película no era difícil entender que antes fue más pequeño. Cada vez más. Y el problema surge en ese *cada vez más*, porque la pequeñez absoluta queda representada por el número cero, y a él llegamos si queremos retroceder absolutamente. El universo tendría un tamaño nulo, cero, y por tanto su densidad era infinita. Otra vez la antipática palabra.

Pero eso no ha hecho arrojar la toalla a los cosmólogos. Mentalmente han hecho un paréntesis a la expectativa de que se llegue a entender del todo cómo era el cosmos en el momento exacto de aparecer. Los físicos aprovechan esa espera para estudiar cómo era el universo un poquito después de su origen, cuando había pasado una fracción pequeñísima de tiempo. En ese punto ya es posible abordar cualquier problema, porque los infinitos se esfuman. En su lugar emergen números grandes, enormes, densidades que no podemos imaginar, pero al menos perfectamente medibles.

Lo extraordinario del asunto es que se puede. Aplicando las leyes de la física que hoy se conocen, puede llegar a comprenderse la historia total del universo, pero sólo desde unos instantes después de su aparición. De todos modos, no me negarás que se trata de un logro extraordinario.

La materia recientemente creada empezó a interactuar entre sí, siguiendo las leyes de la mecánica cuántica, mientras que el espacio y el tiempo se iban haciendo cada vez más y más grandes. La expansión separó la materia, que quedó amontonada en zonas en las que, muchísimo tiempo después, empezaron a crearse las galaxias, y las estrellas y los planetas y también nosotros.

No es una fábula, ni una hipótesis disparatada que unos científicos aburridos hayan escrito en un papel, narrándolo como si se tratara de una novela con el fin de impresionarnos a todos, pobres ignorantes. Nada de eso. Su lenguaje ha sido el matemático, y cada avance en la teoría ha sido sometido al análisis más riguroso. Eso no da una certeza absoluta, claro que no (tal vez dentro de unos años aparezca una teoría mucho mejor, capaz de explicar los hechos de un modo más preciso), pero de momento el Big Bang es la hipótesis que mejor cuadra con los hechos.

Sin embargo, Ulises, hemos de tener cuidado de no caer en la tentación de afirmar, llenos de orgullo, que estamos a punto de comprenderlo todo. Resulta muy fácil deslizarse por esa pendiente y muchos empiezan a hacerlo. Cada época ha creído, sumida en una especie de patriotismo temporal, que el estudio de la naturaleza estaba tocando a su fin. Cuando Newton sorprendió al mundo con la formulación de su teoría de la gravitación universal, parecía que con un par de cosillas más ya podríamos explicarlo todo. El cosmos estaba regido por leyes precisas, medibles, detectables; las cosas interactuaban unas con otras y se pensaba que faltaban sólo un par de detalles

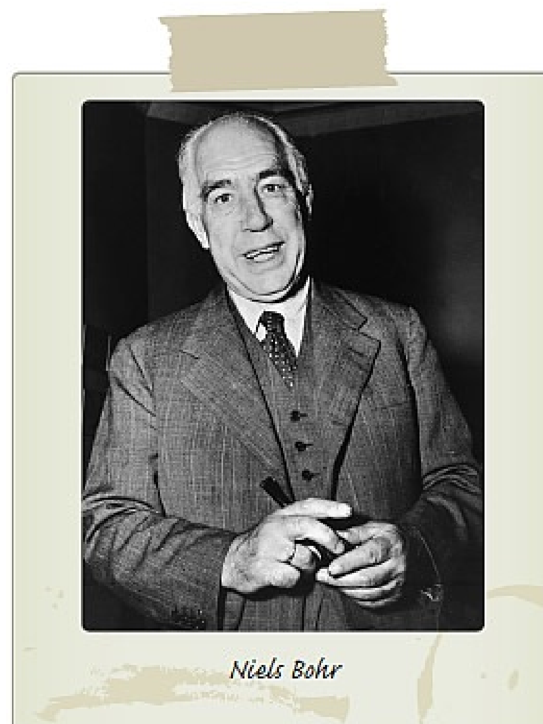
para tener el universo atrapado en nuestra cabeza para siempre. Pero el universo es rebelde y no se deja coger tan fácilmente. Cuando muchos científicos anunciaban encontrarse en la recta final de la ciencia, apareció la mecánica cuántica y la relatividad, y todo volvió a ampliarse de nuevo. Con toda probabilidad, eso nos volverá a ocurrir dentro de algún tiempo y supondrá una auténtica lección de humildad para todos los que aseguran que todo esto ya está prácticamente explicado.

Y ahora te voy a presentar a un futbolista.

Niels Bohr

Obsérvalo bien. Una cara como la suya podríamos encontrarla en el metro cualquier mañana. Nada en su mirada revela que fuera uno de los hombres más inteligentes del siglo XX, alguien capaz de hacer tragar saliva al mismísimo Albert Einstein.

Se llamaba Niels Bohr y durante su juventud era un apasionado del fútbol. En Dinamarca, donde nació, él y su hermano disputaron partidos importantísimos. Los comentaristas deportivos aseguraban que su pierna derecha era magnífica y que podría llegar a convertirse en todo un campeón, incluso a nivel internacional. Sin embargo, no fue su pierna, sino su cerebro, lo que le hizo pasar a la historia.


Niels Bohr

Niels Bohr estaba fascinado con el átomo de Rutherford. Le maravillaba que dentro de la materia, a nivel microscópico, existieran cosas que se parecían tanto al sistema solar. Aquella similitud tan poética, no obstante, tenía un grave problema, y el futbolista intentó encontrarle solución.

Ese inconveniente tenía que ver con la estabilidad. Se sabía que, cuando un electrón giraba en torno al núcleo atómico, emitía una radiación y, al hacerlo, perdía inevitablemente energía. Por tanto, eso debía de provocar que girara cada vez más despacio, perdiendo su fuerza, hasta caer al núcleo en una pequeñísima fracción de segundo.

Para entenderlo, imagina que la Luna recibiera el impacto de un poderosísimo meteorito y frenara su velocidad de traslación. En ese caso, estaría en la misma situación que las primeras piedras que empezaste a lanzar al inicio de este libro, aquellas cuya velocidad aún no era suficiente como para dar la vuelta completa a la Tierra. ¿Recuerdas qué les ocurría? Caían al suelo. Algo similar debía de ocurrir con los electrones. Perder energía tenía que implicar caer en el núcleo.

El mismo Rutherford fue consciente de ese problema. Muchos de sus colegas le decían que, pese a la belleza de su modelo, éste tenía que ser descartado. Rutherford insistía y defendía ese sistema solar pequeñito. Su fe era total.

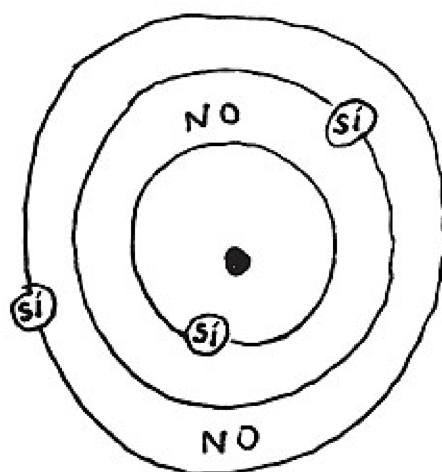
Bohr quiso darle una oportunidad a la idea de Rutherford y se preguntó qué tendría que ocurrir para que los electrones no se estamparan nunca contra el núcleo. En seguida vio que, si empleaba la física clásica, jamás iba a obtener una respuesta. Entonces pensó en Max Planck, el respetadísimo profesor que trajo al mundo la mecánica cuántica.

Dibujó un átomo en un papel, siguiendo las indicaciones de Rutherford. Trazó, pues, el esquema de un sistema solar, sustituyendo el Sol por un protón y la Tierra por un electrón. Se trataba del boceto de un átomo de hidrógeno, el más sencillo que existe en la naturaleza. Lo simple era una excelente forma de empezar a pensar en el problema.

Recordó que Planck había hablado de los cuantos, las diminutas e indivisibles unidades de energía. Pensó que, si esos paquetes de energía trocean de algún modo la realidad, si la enladrillan, ¿por qué no podría ocurrir lo mismo con otras cosas, por ejemplo, con las órbitas de los electrones?

En el mundo de las cosas grandes, todo parece continuo. Recuerda la paradoja de Zenón con su antipático infinito. Entre un punto y otro del espacio, hay infinitas posiciones. Un planeta, por ejemplo, podría girar alrededor del Sol a cualquier distancia que quisiera de él, siempre y cuando su velocidad al hacerlo fuera la adecuada. Si el planeta deseara dar vueltas más cerca del Sol lo tendría muy fácil: sólo debería disminuir su velocidad y acabaría encontrando una órbita que lo recibiera con los brazos abiertos. Por decirlo de algún modo, no existen órbitas prohibidas. En el sistema solar y, en general en el mundo de los objetos grandes, cualquiera está permitida.

Pero ya has visto que lo que ocurre en la realidad pequeñita es ligeramente distinto. Bohr se dijo que, si los electrones tuvieran *órbitas prohibidas*, el problema de la inestabilidad del átomo quedaría resuelto por completo.



¿Qué significa eso de *órbitas prohibidas*? Imagina que un electrón, al girar y emitir radiación, efectivamente pierde energía. Pero supón que la cantidad perdida le frena *sólo un poquito*. En ese caso, debería caerse también *sólo un poquito*. Ahora imagina que *ese poquito* no es suficiente como para hacerlo caer a la siguiente órbita permitida. En ese caso, continuaría girando donde estaba pese a haber emitido radiación.

El dibujo que te acabo de hacer representa de un modo bastante ingenuo, aunque útil, las órbitas permitidas en el modelo atómico de Bohr. Los círculos son órbitas en las que sí puede estar un electrón. Los espacios entre esos círculos son órbitas prohibidas. Con esta prohibición, un electrón que rotara alrededor del núcleo nunca podría caerse. Le resultaría imposible porque se vería obligado a pasar por las zonas blancas que hay entre los círculos, y esas zonas están prohibidas.

Sé lo que se te está pasando por la cabeza, Ulises. Sin duda pensarás que se trata de una chapuza, un parche. ¿Por qué narices la naturaleza tiene que prohibirle hacer según qué cosas a los electrones? ¿Porque lo diga Bohr?

Entiendo que tengas tus dudas, pero ningún científico serio —y Bohr lo era— expone sus hipótesis por simple capricho. La existencia de órbitas prohibidas es algo que surge del estudio profundo de los ladrillitos cuánticos de Planck. La naturaleza va a saltos, no es continua, y las posiciones de las órbitas, tampoco.

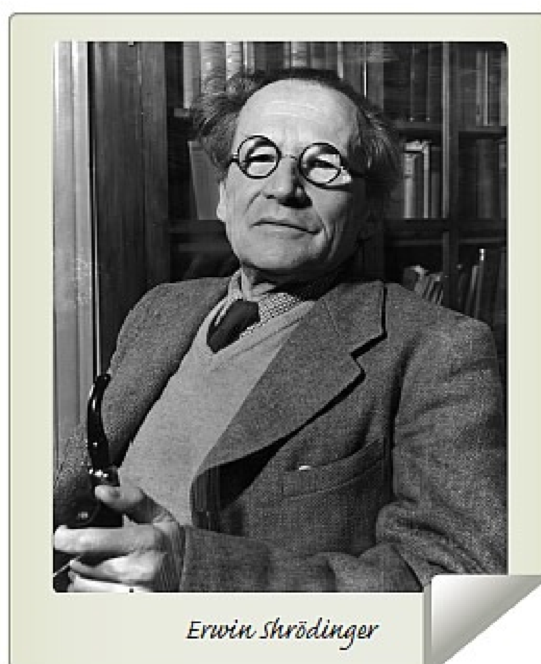
Durante toda esta explicación he empleado el verbo *prohibir* porque es el que utilizan los físicos cuando comentan la explicación que dio Bohr para salvar el modelo atómico de Rutherford, pero entiendo que su uso pueda llevar a cierta confusión. Aquí nadie prohíbe nada. La naturaleza no es un juez ni un policía. La naturaleza es la naturaleza y sus leyes no son dictadas por ninguna entidad fantasmal. El concepto *órbita prohibida* es, tan sólo, una metáfora, un modo de decir que las cosas en el mundo atómico no son continuas, aunque lo parezcan en la realidad que vemos a escala humana.

El trabajo de Niels Bohr supuso una gran defensa del modelo atómico que representa un sistema solar en pequeñito, pero no olvides lo que te decía unas páginas atrás: el mundo cuántico se convirtió en borroso desde que supimos que las ondas y las partículas se confunden entre sí.

Y aquí es cuando las cosas empiezan a ponerse interesantes.

Difuminarlo todo

Te volveré a hablar de Bohr, porque su papel en la historia de la ciencia del siglo XX es extraordinario. Pero ahora sería bueno que conocieras a un tipo a quien no le gustaban para nada estos saltitos cuánticos. Se llamaba Erwin Shrödinger, nació en Viena y físicamente era como Max Planck, pero con algo más de pelo.


Erwin Shrödinger

Este físico era un conversador excelente. Sin duda, la mejor compañía posible para una cena agradable, pero jamás lo recomendarías a una amiga para que se casara con él. Nadie ha podido calcular de modo preciso con cuántas mujeres engañó a su esposa durante todo el tiempo que estuvo casado con ella. Las cifras que se barajan son asombrosas, pero nunca se ha realizado un estudio serio al respecto.

Entre aventura y aventura, Erwin se dedicaba a pensar profundamente en las implicaciones de los saltos cuánticos dentro de los átomos. No soportaba que existieran. Se dijo a sí mismo que haría todo lo posible para eliminarlos. El modelo atómico de Bohr, con esas órbitas prohibidas que había que ir saltando, le parecía lo más antiestético del mundo.

En cierta ocasión se marchó a descansar a una cabaña en el monte. Como es obvio, se llevó con él a una muchacha guapísima. Se dice que fue allí, en ese retiro tan bucólico, donde tuvo la mejor idea de su vida. Tal vez la chica estaba durmiendo en la cama, o duchándose; jamás lo sabremos. Shrödinger solía cargar siempre con un cuaderno donde lo apuntaba todo, pero curiosamente no se lo llevó en aquella ocasión.

Lo que resulta innegable es que dedicó parte de su tiempo a pensar de modo obsesivo en los electrones. ¿Por qué saltaban de un lado a otro? Eso significaba que atravesaban el espacio intermedio sin haber estado jamás en él. Algo tremendamente incómodo, ni que decir tiene.

Erwin comenzó a pensar en la idea del príncipe De Broglie. Si los electrones eran también ondas, tal vez ahí podía encontrarse una solución. Las ondas, razonó, son por definición imprecisas. No están en un lugar concreto, determinado, fijo, sino que ocupan una extensión espacial. Las olas del mar no están en un punto que podamos señalar con un dedo, sino que se extienden difusamente en una gran superficie. ¿Y si fuera eso lo que les pasaba también a los electrones? Si nos imaginamos a éstos como ondas que no ocupan una posición concreta, el problema del salto de una órbita a la otra desaparece por completo. Cuando el electrón gira en una órbita y luego pasa a la otra, el tránsito sería continuo, puesto que la posición de las ondas no implicaría un lugar preciso en ninguna de las dos posiciones.

Si yo estoy en París y al instante, en Moscú, sin atravesar el espacio que separa ambas ciudades, he efectuado uno de esos saltos que a Shrödinger no le gustaban nada, pero si yo soy espacioso como una nube y cuando estoy en París me ensancho hasta casi llegar a Moscú, al llegar a la ciudad rusa me habré movido de un modo sutil y nada brusco.

Esta explicación le provocó a Erwin una gran emoción. Por fin había eliminado los saltos cuánticos. Hizo cálculos complicadísimos y halló una ecuación para los electrones a la que llamó *ecuación de onda*. Esta fórmula matemática describía a la perfección el modo en el que los electrones se comportaban dentro del núcleo atómico.

Feliz por ese resultado, intentó ampliar su ecuación a todo el universo. Tal vez pensó lo siguiente:

- Las partículas subatómicas son ondas.
- Su movimiento puede entenderse aplicando mi fórmula matemática.
- Los objetos grandes, mi cabeza incluida, o los planetas, o el cuerpo de mi nueva amante, están todos formados por partículas subatómicas.
- Por tanto, mi fórmula también será válida para objetos grandes.

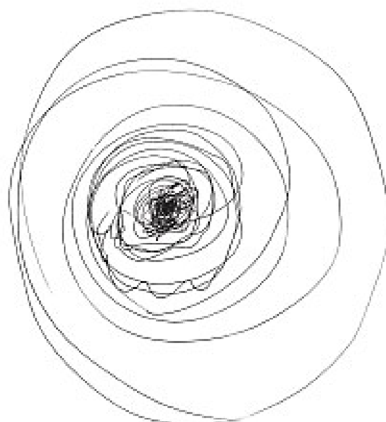
Seguro que no fue esta cadena de razonamientos la que tuvo nuestro amigo Erwin en su preciosa cabaña, pero muy probablemente puede traducirse así. En seguida vio que todos los objetos del mundo, y no sólo los pequeños, podían ser descritos mediante su ecuación de onda. Observó que, cuando la aplicaba a objetos grandes, las leyes del movimiento que se desprendían de sus ecuaciones eran exactamente las leyes clásicas del movimiento.

Acababa de hacer en el siglo XX lo que Galileo y Newton habían realizado en el pasado. Einstein, al conocer la teoría de Erwin, afirmó que se trataba del trabajo de un auténtico genio.

Pero vamos a repasar lo que realmente quiere decir. Pensemos en un electrón. Antes, a esta partícula la dibujábamos así:

•

Un simple puntito. Pero ahora ya no es sólo un punto; también es una onda dispersa y difuminada. Por tanto, hemos de dibujarlo así:



Shrödinger afirmó que las zonas interiores del dibujo, las más marcadas, representan los lugares *más probables* en los que podríamos encontrar el electrón. Es lo que tienen las cosas difusas: uno no puede señalar con precisión dónde están. Las líneas más espaciosas, las menos densas, representan una disminución en la probabilidad de hallarlo. Es como si el electrón estuviera en todos los lugares a la vez. El verbo «estar» implicaría tan sólo la mayor probabilidad de encontrarlo en las zonas más marcadas.

Ésta es la idea de Shrödinger, lo que se cuenta siempre al narrar esta parte de la historia de la física, pero, un momento: me estoy mareando.

Perplejidad

¿De qué estamos hablando, hijo mío? Llevo varias páginas escribiendo cosas con la máxima normalidad, poniendo ejemplos, haciendo dibujos con la ingenua ilusión de que la realidad puede ser representada gráficamente, intentando razonar y comprender lo que te voy explicando, y acabo de darme cuenta de lo rematadamente extraño que es hacer todo eso. ¿Cómo podemos permanecer tranquilos, como si nada pasara, cuando estamos afirmando que estamos hechos de partículas que se extienden a lo largo de una zona muy amplia *pero dispersa*? ¿Qué diablos significa todo esto? No estamos especulando sobre temas lejanos, aunque nos lo parezca. Los electrones son algo que tiene mucho que ver con nosotros. Estamos llenos de ellos. En tus manos, en tu lengua, en tus párpados, en cada uno de tus cabellos, en tus ojos se encuentran burbujeando ahora mismo centenares de miles de millones de ellos. Estamos constituidos por partículas subatómicas y, como si se tratara de lo más normal del

mundo, te suelto que son *dispersas y difusas*. En su esencia, nadie lo entiende, y el pecado que cometemos todos es hablar simulando momentáneamente que tenemos claro lo que estamos diciendo.

Niels Bohr, el futbolista físico, llegó a decir que aquel que crea haber entendido la mecánica cuántica es que no la ha entendido. Tal vez sea ése el único consuelo.

Si te fijas bien, cada vez que volvemos a este asunto de lo muy pequeño, salimos más desorientados. Aún faltan algunas visitas al mundo cuántico, y la perplejidad irá en aumento. Antes de eso, y para recuperar un poco la razón, volvamos al gigantesco universo.

Cumpleaños cósmicos

Nos habíamos quedado, Ulises, en el modo en el que los científicos dan una explicación de la historia del universo desde fracciones de segundo después de su aparición. Ahora es preciso que te aclare algunas cosas. Leer lo que te escribí tal vez generó en ti cierto escepticismo. Después de todo, ¿cómo se puede saber lo que ocurrió hace tantísimos miles de millones de años? Es más, ¿cómo se ha llegado a obtener esa cifra?

Entiendo tu reticencia a aceptar porque sí esos números tan sospechosamente concretos, sobre todo teniendo en cuenta que el tema es bastante complicado. Ante todo, hay que dejar claro que los científicos profesionales no suelen lanzar datos porque les parezcan bonitos. No son escritores de novelas ni poetas, aunque tengan mucho de estos últimos. Lo que dicen surge, como no me cansaré nunca de decirte, de un estudio profundo de la realidad y procuran no aventurar nada si no hay una fuerte motivación para hacerlo.

Si yo te dijera que calcularas la edad del universo, tendrías que empezar teniendo un dato-base, es decir, el número de años de algo que efectivamente existe. Después de todo, el universo ha de ser más viejo que cualquier cosa que tú conozcas.

Si estuvieras solo en el mundo, llegarías a la conclusión de que el cosmos tiene, al menos, un segundo más que tú, ya que no podrías existir *antes* de la aparición del universo. Por suerte, a tu lado hay más personas. La más anciana tal vez tenga noventa y tantos años. Por consiguiente, el momento del Big Bang ha de situarse, como mínimo, hace unos cien años.

Pero sabes que hay cosas que existieron antes que las personas más mayores que conoces. Las catedrales, por ejemplo, tienen varios siglos, y las pirámides de Egipto, cuya edad se sitúa hace más de cinco mil años. De este modo, irías ampliando poco a poco la edad del universo.

Pero fíjate en algo. Cuando te dicen que la catedral de Burgos se construyó a principios del siglo XIII, no te queda más remedio que creértelo, puesto que tú no has podido averiguarlo por tu cuenta. Eso es algo a lo que no están dispuestos los

científicos. Ninguna palabra, venga de donde venga, puede otorgar credibilidad a los hechos. La ciencia quiere constatar por sí misma todos los datos. Veamos cómo actúa.

Al igual que en los ejemplos anteriores, los físicos, para calcular la edad del universo, pensaron en algo tremendamente obvio: éste ha de ser más viejo que cualquier cosa que exista en él.

Cuando te hablé del Sol, te dije que era posible calcular su tiempo de vida en función del combustible que le queda y conociendo el ritmo en el que el hidrógeno se convierte en helio. Gracias a eso, se sabe que nuestra estrella tiene unos 4.500 millones de años de edad.

Ése es un buen dato-base para empezar. El universo ha de ser mayor de 4.500 millones de años. Pero el Sol no es lo único que hay en el universo. Existen otras estrellas, cuya edad podemos calcular sin problema. Y, además, la distancia que nos separa de algunas galaxias nos puede dar también una fantástica pista. Sabiendo lo lejos que están y el tiempo que ha tardado la luz en llegar hasta nosotros, podemos deducir que el cosmos fue creado antes de que esa luz saliera hasta alcanzar nuestros telescopios.

Aunque éstos sean buenos medios para calcular el tiempo transcurrido desde el nacimiento de nuestro universo, los científicos tienen otra forma magnífica para averiguarlo. Para saber cuál es, sería bueno que recordaras a aquel boxeador que terminó descubriendo la expansión del universo, el gran Edwin Hubble.

Hubble, como te conté, vio que las galaxias se alejaban unas de otras, lo que llevó a pensar que, en el pasado, estaban más juntas. No sólo obtuvo esta información, sino que la cuantificó. Es decir, calculó la velocidad a la que las galaxias se alejaban, comprobando además que, cuanto más lo hacían, más velocidad adquirían. El valor de este alejamiento es un número que se llama *constante de Hubble*.

Es un dato de una utilidad asombrosa. Si tú sabes, por ejemplo, a qué velocidad se infla un globo, sólo tienes que retroceder en el tiempo y calcular en qué momento empezó a hincharse para que ahora tenga el tamaño preciso con el que lo ves. Podemos hacer exactamente lo mismo con el universo: sabiendo la velocidad a la que crece, no nos resultará difícil averiguar cuándo empezó a hacerlo.

Hubble dio un valor a su constante, pero resultó ser algo mayor al obtenido tiempo después, con mejores observaciones del espacio más lejano. Recientemente, unos científicos de California han calculado la velocidad de fuga de las galaxias con una precisión increíble, dando un valor bastante preciso a la constante de Hubble.

Aplicando unas fórmulas a este valor, los físicos calculan que el universo estuvo concentrado en un punto hace unos 13.700 millones de años. Esta cifra surge realmente como resultado de un cálculo en una ecuación. No es una estimación aleatoria. Es matemática pura.

En la ciencia se da mucho valor a los resultados obtenidos por vías distintas. Si distintos amigos te dicen algo respecto a un suceso, tiendes a creértelo más que si te lo cuenta uno solo. Algo así, pero con más rigor, ocurre con los experimentos múltiples que arrojan idénticos o similares resultados.

Otra forma de calcular la edad del universo tiene que ver con algo que ocurrió, según la mecánica cuántica, en los primeros tiempos de su existencia. La materia, al expandirse el espacio, dejó libres los fotones —recuerda, las partículas de las que está hecha la luz—, y éstos empezaron a campar a sus anchas. Como la tela del espacio iba haciéndose cada vez mayor, se iban estirando las longitudes de onda asociadas a los fotones.

Esa radiación, esas ondas, continúan estando aquí, tantísimos años después. Se conocen como *radiación de fondo*. El estudio de esa radiación, cuyas ondas fueron estiradas por la expansión del espacio, ofrece también un buen dato de la edad del universo que coincide con el obtenido empleando la constante de Hubble.

Como ves, los físicos no se inventan nada, aunque puedan estar equivocados. Tal vez surjan mil problemas y cien hechos a los que no habían prestado atención, pero de momento, a falta de más evidencias, todo apunta a que el Big Bang, en efecto, ocurrió hace unos 13.700 millones de años.

El universo parece estar medido, al menos temporalmente. Pero justo cuando las cosas parecían estar bien encaminadas, surgió otra inquietante posibilidad: tal vez nuestro universo no sea el único que existe. A lo mejor es uno entre millones de ellos.

Te lo contaré después. Antes debemos volver al mundo de lo pequeño. Estamos aproximándonos cada vez más al misterio total.

Bolas que van a su bola

No sabemos lo que ocurrió cuando Erwin Shrödinger regresó a su casa después de aquellas pequeñas vacaciones en la cabaña. Tal vez su esposa lo miró con cierta suspicacia, aunque lo más probable es que su mujer ya empezara a estar acostumbrada a todo aquello. En cualquier caso, lo cierto es que el hombre estaba pletórico. Por fin había conseguido eliminar los saltos cuánticos, pero a costa de algo que ni siquiera él podía imaginar.

Al describir los electrones como una onda difusa que se extendía en una amplia zona, estaba dando pie a que muchos de sus colegas empezaran a especular acerca del significado profundo de esa *extensión*. Para Shrödinger no había duda: se trataba simplemente de la zona en la que era más probable hallar la partícula en un momento dado. Pero esa interpretación no fue la que sostuvieron otros físicos. Según ellos, el electrón estaba realmente en todos los puntos de esa extensión, a la vez, ocupándolo todo.

Sin duda es otra forma de verlo, aunque profundamente más inquietante. La zona que describe esa ecuación de onda no sería sólo el dibujo de los lugares *más probables* para encontrar partículas, sino la suma de todos los sitios en *los que realmente están*. En ese sentido, un electrón «habitaría» todos los lugares al mismo tiempo hasta que un científico lo detectara. En ese momento, la partícula aparecería en un punto determinado, pero antes tendría una existencia extensa indeterminada.

En este punto, los físicos parece que no terminan de ponerse de acuerdo. Algunos prefieren no hablar de ello y simplemente calcular y observar; otros relativizan el asunto diciendo que en realidad no todo resulta tan misterioso como aparenta ser, puesto que terminará hallándose una explicación coherente que nos devuelva al confort de una naturaleza medianamente explicable. Y luego están los más osados, que afirman sin ningún género de dudas que lo real, sea eso lo que sea, depende de un modo radical de la presencia o no de observador consciente. Por mi parte, prefiero no tomar partido. Uno empieza a estar un poco harto de ir de un sitio a otro, devanándose los sesos cada vez que una nueva corriente de pensamiento propone un modelo nuevo de explicación. Es preferible que nosotros, meros observadores de la ciencia, nos conformemos con la maravillosa duda, pensando que, a fin de cuentas, todo es posible.

Acabo de hablarte de la posibilidad de que el observador consciente *crea la realidad*. Ésa es una hipótesis no confirmada que suele confundirse con esta otra: el observador *altera la realidad*, lo que es monumentalmente distinto. Y esta última hipótesis ha resultado ser un hecho demostrado a la perfección.

Ya lo sé, Ulises, cuesta entenderlo, pero nadie dijo que la mecánica cuántica fuera sencilla. De hecho, siempre se ha afirmado de ella todo lo contrario. Por insólito que te pueda parecer, los constituyentes de los que está formada la materia no tienen un comportamiento independiente de la observación y, en ausencia de alguien que los mirara, su comportamiento sería distinto.

Aquí, de nuevo, aparecen los amigos de lo enigmático para darnos su especial punto de vista. El hecho de que el observador pueda alterar de algún modo la realidad es considerado una prueba indiscutible de la existencia de determinados poderes psíquicos. Incluso son capaces de afirmar que nuestro cerebro puede cambiar la realidad a su antojo. Es, una vez más, una prueba de hasta dónde puede llegar una interpretación interesada de los resultados científicos. La mecánica cuántica no habla de secretos poderes del alma; sólo describe el comportamiento de la materia a nivel microscópico, y lo hace de un modo matemático, estadístico. El hecho de que su comportamiento se vea afectado por la observación no implica, en absoluto, que nuestro pensamiento pueda alterar el mundo a voluntad.

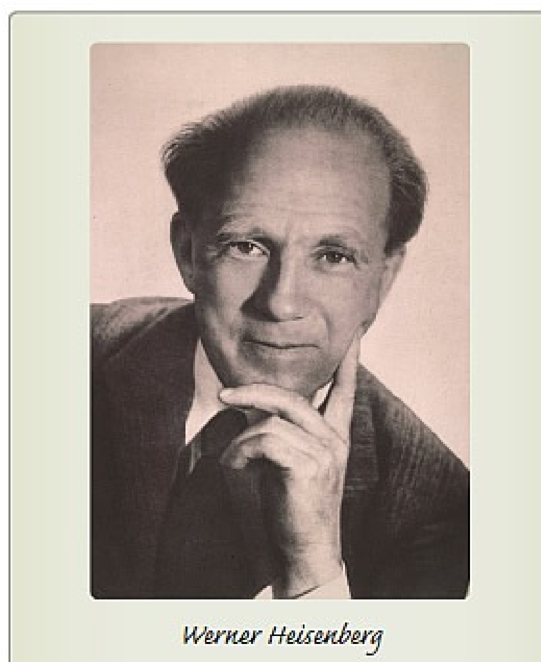
Si Shrödinger quería eliminar la incomodidad de ciertos aspectos poco intuitivos de la mecánica cuántica, la verdad es que logró todo lo contrario. Consiguió, sin quererlo, dispersar la realidad un poquito más, añadiéndole un elemento difuso. Por si eso fuera poco, los saltos cuánticos que quiso descartar siguen vivitos y coleando.

He de confesarte que soy un poco perverso. He utilizado una técnica para sorprenderte, algo más propio del espectáculo que de la explicación científica. No puedo evitar ser como soy. He dado por supuesto que el observador altera la realidad, y lo he hecho antes de contarte cómo se llegó a esta importantísima conclusión. He decidido hacerlo así para que el choque emocional fuera mayor. Una ridícula y frívola estrategia, lo siento. Si hubiera empezado contándote los pasos que se dieron hasta llegar a ese desenlace, hubieras ido anticipando el resultado y la sorpresa habría desaparecido. Ahora te contaré el proceso que llevó a los físicos a considerar el mundo

atómico como algo dependiente de la observación. ¿Me perdonas por haberlo hecho al revés? En el fondo lo he hecho por ti. Querer sorprenderte es también una muestra de amor.

El principio de incertidumbre

El nombre de este principio de la física es realmente espectacular. Difícilmente podría haberse elegido uno más inquietante. Su gancho consiste en asociar dos conceptos distintos por completo. El término *principio* nos sugiere la imagen de algo organizado, calculado, rígido, y la palabra *incertidumbre* representa todo lo contrario. La unión es magnífica y consigue estremecernos.



Werner Heisenberg

El responsable de su formulación fue este hombre, el físico alemán Werner Heisenberg. Cuando Max Planck acababa de terminar su teoría cuántica, Werner estaba haciéndose caca encima cada tres horas y llorando estridentemente, con la consiguiente desesperación de sus padres.

Su interés por la física tardaría unos años en llegar, obviamente, pero cuando lo hizo no desapareció jamás. A finales de los años veinte, se interesó por el comportamiento de las partículas elementales y nuestra capacidad para hacer predicciones acerca de ellas.

A lo largo de este libro habrás visto que te he hablado de leyes físicas. De hecho, la historia de la ciencia es un intento desesperado por encontrarlas. Resultan de una tremenda utilidad y nos ayudan a entender el mundo, simplificándolo todo de un modo asombroso. La de Newton sobre la gravitación es un magnífico ejemplo de ley física.

Es capaz de hacer pronósticos. Si, por ejemplo, conoces la posición y la velocidad de un planeta en un momento determinado, serás capaz de calcular dónde estará en el futuro.

Esa cualidad de las leyes es magnífica, por supuesto. Nos ayuda a introducir en la cabeza el universo entero. Si todo fuera caótico, si las cosas no estuvieran sujetas a reglas sencillas y universales, seríamos incapaces de crear tecnología. Los inventos humanos están basados en la confianza que tenemos en las leyes naturales. Parecen funcionar siempre, sin fallo alguno.

Heisenberg quiso saber si esa predicción que podemos hacer en el mundo de los planetas también sería posible en el extrañísimo universo de la mecánica cuántica. Pensemos, por ejemplo, en un electrón, la partícula estrella de este libro. Si queremos saber si su comportamiento es predecible, si deseamos conocer si seremos capaces o no de dilucidar dónde se hallará en el futuro, hemos de averiguar primero dónde está en el presente, qué velocidad tiene y en qué lugar exacto se ubica. Conocidos todos esos datos, en principio no nos resultará difícil averiguar toda su historia futura.

Si tú quieres saber dónde se encuentra un caracol, sólo tienes que buscarlo. Cuando lo hallas, apuntas su posición en un papel y ya puedes decir lleno de alegría: acabo de apuntar la posición donde se localiza el animal. Para hacer eso, has de haberlo visto y, para verlo, la luz ha tenido que chocar contra el caracol y rebotar hasta tus ojos. No tiene mayor misterio.

Así que no resulta complicado pensar que algo similar hemos de hacer para saber dónde está un electrón. Tan sólo tendremos que iluminarlo y esperar a que la luz rebote en él y llegue hasta nuestro aparato de medición. El problema es que la luz, como ya sabes, está compuesta por fotones. Éstos son muy pequeñitos, claro está, pero los electrones, también. Así que, cuando la luz incide sobre un electrón, el fotón que lo golpea para iluminarlo *afecta* su trayectoria. El mero hecho de observar altera aquello que está siendo observado.

El principio de incertidumbre es mucho más complejo que esto, por supuesto, pero esta descripción puede ayudarte a entender las dificultades a la hora de efectuar mediciones. En realidad, sugiere que nunca podremos anotar, al mismo tiempo, la posición y la velocidad de una partícula subatómica. Si queremos conocer la posición, fallaremos calculando la velocidad. Si queremos saber la velocidad, no podremos conocer la posición. Cuanta más precisión deseemos para una de esas dos características, menos exactitud obtendremos para la otra.

Seguramente pensarás que todo es un problema práctico, que el hecho de que el fotón desvíe al electrón no tiene demasiadas implicaciones filosóficas, y revela tan sólo nuestra dificultad para tomar medidas. Dirás, tal vez, que el hecho de que la velocidad y la posición de un electrón no puedan ser conocidas por culpa de los fotones malditos que chocan contra él es una auténtica faena, pero que eso no cambia para nada nuestra idea de un universo perfectamente predecible y determinado. El hecho de que nunca *podamos conocer* esos datos no implica que esos datos *no existan* en realidad.

Sin embargo, las cosas no resultan tan sencillas. No se trata de un problema técnico, sino de una cualidad inherente a la naturaleza. Hay algo de azaroso en el comportamiento de la materia en su nivel más profundo, una característica que parece burlar las leyes de la física.

Esto no le gustaba nada a Albert Einstein. Su famosa frase «Dios no juega a los dados con el universo» es su respuesta a esta aparente arbitrariedad en el comportamiento subatómico. Detestaba que los diminutos objetos tuvieran una conducta tan caprichosa. Las leyes de la física tenían que ser obedecidas sin rechistar, porque creía que, si nos quitan la regularidad del mundo, la ciencia tal como la entendemos se esfuma de inmediato.

Einstein, pese a haber sido uno de los principales impulsores de la mecánica cuántica, empezó a alejarse de ella con rapidez. Durante toda su vida miró con desdén todo este extraño mundo del que te estoy hablando. No se lo podía creer. Pensaba que, tarde o temprano, la ciencia encontraría explicaciones razonables a todos los aparentemente extraños comportamientos que observamos en la materia.

Él y Niels Bohr discutieron durante muchísimas horas acerca de todas estas cuestiones. Einstein, solito en casa, se preparaba un argumento para echar por tierra la mecánica cuántica. Sonreía de forma pícara creyendo haberlo hallado, pero Bohr siempre terminaba desmontándoselo en muy poco tiempo. En algunas ocasiones, Bohr tardó un poco más en localizar el fallo, pero al final siempre se salía con la suya.

Estas discusiones duraron años, y Niels Bohr nunca fue capaz de convencerlo del todo. Einstein murió en 1955, completamente seguro de que, antes o después, todo este enigmático mundo cuántico sería iluminado por la luz de la razón clásica, desapareciendo para siempre las indeterminaciones, el azar y las influencias de los observadores en lo observado.

Pero ¿qué diablos es una ley física?

¿Recuerdas, Ulises, que antes te hablaba de las cosas que damos por supuestas? Son muchísimas. Durante todo este libro hemos dado por sentado que en la naturaleza existen leyes físicas y todavía no nos hemos preguntado por qué.

Sabemos más o menos lo que son: normas que el universo obedece sin rechistar. La Luna siempre gira, y jamás se le ocurre salirse de su órbita. La fuerza con la que se atraen los cuerpos masivos es descrita por una fórmula matemática. Parece que el cosmos entero se rinde ante algo superior a él mismo, como si la naturaleza fuera un soldado que ha de cumplir lo que un escondido general ha ideado para ella. Eso es lo que parece, pero tal vez las cosas no sean así.

Ya has visto que la mecánica cuántica nos presenta un mundo en el que el azar tiene un papel fundamental. Eso no significa que no operen leyes por ahí abajo. Ocurre, simplemente, que esas leyes son algo distintas y tienen que ver con la estadística. Aunque no podamos prever el comportamiento de una partícula chiquitita,

sí podemos pronosticar el modo de actuar de cuerpos formados por millones de esas partículas. La materia, a nivel atómico, también tiene sus leyes, aunque sean distintas a todas las que habíamos imaginado hasta ahora.

Pero no podemos dejar de preguntarnos qué es una ley física. ¿Por qué existen, pudiendo no existir? ¿Por qué un electrón tiene la masa que tiene? ¿Por qué la constante de la gravedad es la que es? ¿Por qué la velocidad de la luz tiene el valor que tiene?

Para contestar a esta pregunta, pensemos en el yogur.

Yogures y múltiples universos

Cuando yo era pequeño, solía preguntarme por qué el envase de yogur tenía exactamente ese tamaño. ¿Quién lo había decidido? ¿Cuándo dijeron: *hasta aquí*? ¿Por qué no un poquito más grande o algo más pequeño? Me imaginaba una reunión de expertos yogurteros determinando medidas para el envase. ¿En función de qué criterios se tomaban las decisiones? La respuesta a esta pregunta, aunque te parezca insólito, puede servirnos para comprender el misterio de las leyes de la física.

Una posible explicación al enigma del yogur es que, tuviera el tamaño que tuviese, yo siempre me hubiera formulado la misma pregunta. La duda era, por tanto, externa al elemento que me la había generado. No tenía nada que ver con el tamaño del envase, sino con la propia existencia de los tamaños.

Si el recipiente hubiera sido mayor, o ridículamente pequeño, mi pregunta no se hubiera modificado en absoluto. Siempre hubiera estado presente mi porqué.



Cuando la biología empezó a entenderse de un modo más o menos profundo, se vio con claridad que las leyes necesarias para que exista la vida debían ser exactamente las que son. Cualquier variación, por mínima que fuera, en alguna de las múltiples variables, y la vida no hubiese surgido jamás.

La cosmología también se enfrentó a ese inquietante razonamiento. Cualquier alteración, por mínima que fuera, de las leyes que rigen la naturaleza, habría provocado que el universo no existiera tal como lo conocemos. Si el electrón tuviera una carga eléctrica un poco menor, aunque sólo fuera un poquito, no podría permanecer unido al núcleo porque sería expulsado por éste, y los átomos no podrían existir. Y sin los átomos no habría moléculas, y sin éstas sería imposible la presencia de células, sin las cuales la vida tampoco habría aparecido.

Entonces, es lógico que nos preguntemos por qué el universo tiene justamente esas características. ¿No es demasiada casualidad? De inmediato nos vemos tentados a especular sobre la posibilidad de la existencia de un creador bondadoso que hubiera diseñado un cosmos especialmente habilitado para nosotros, un ser todopoderoso que decidió *exactamente* las variables y constantes de la naturaleza para que, con el tiempo, pudiéramos surgir nosotros. De hecho, este argumento es utilizado por un buen número de personas para defender la existencia de Dios, pero, tal vez, como en el ejemplo del yogur, la duda vaya más allá de aquello que nos la ha generado.

Quizá pensarás que el ejemplo del yogur no está del todo bien escogido, porque, después de todo, es posible crear envases de yogur de diferentes tamaños. Pero esta reflexión, lejos de invalidar el paralelismo, consigue ampliarlo hasta límites inimaginables, porque nos sugiere que una excelente explicación a la extrañeza de la precisión de las leyes naturales sea que pueden crearse universos con leyes distintas.

¿Por qué el envase de yogur tiene *este* tamaño y no *otro*? ¿Por qué el universo tiene *estas* leyes y no *otras*? Puede haber *muchos envases de yogur* con tamaños distintos. Puede haber *muchos universos* con otras leyes distintas.

La existencia de otros universos parece violar el significado de la propia palabra. Tendemos a definir *universo* como «la totalidad de todo lo que existe, existió y existirá». Entonces, ¿cómo van a existir totalidades diferentes? Parece una contradicción, pero es fácilmente solucionable. En lugar de pensar en el universo como la totalidad de lo real, debemos pensar en él como la totalidad de aquello que obedece *determinadas leyes*. Podría haber otros universos, cada uno con sus propias constantes universales. En éste surgió la vida porque aquí se dieron las condiciones necesarias. La razón de por qué ha sido en éste se convierte, entonces, en algo radicalmente sencillo: porque si no, no estaríamos aquí para preguntárnoslo.

La idea de la multiplicidad de universos surgió como un intento de explicar lo insólito de la adecuación de las leyes a las particularidades de la materia. Sólo siendo como son tenemos el universo que tenemos. La idea de multiplicar el universo, convirtiéndolo en *multiverso*, tiene un origen casi filosófico, pero bien pensado puede ayudarnos a explicar particularidades del mundo físico.

Por ese motivo, cada vez es una idea más respetada entre la comunidad científica. Pese a su sabor esotérico, se trata de una hipótesis que se baraja con absoluto rigor. Por supuesto, no está demostrada en absoluto, pero nos ofrece claves para ampliar nuestra compresión de objetos reales detectados por la ciencia. Los agujeros negros, por ejemplo, podrían ser puertas a otro universo.

O tal vez no.

Hay que ir con cuidado con este tema. Es muy resbaladizo. Ningún físico serio te dirá que esos otros universos, de existir, sean la morada de los difuntos o cualquier chaladura similar. En primer lugar, estamos hablando de hipótesis. Y, además, de ser ciertas, trataríamos con conjuntos de espacio-tiempo en los que operarían leyes distintas. O incluso universos sin espacio y sólo con tiempo. ¿Te imaginas? ¿Cómo sería un universo formado *solamente* por tiempo? Parece un cuento de Borges.

Dejémoslo aquí, porque estoy empezando a especular sin fundamento y eso, créeme, es algo terriblemente peligroso. En vez de continuar por esta línea, vamos con algo que aún no hemos hecho: hablar un poco de nosotros, las personas.

Seres humanos

Bueno, también forman parte del universo, pobres. Los seres humanos son un elemento más de los muchos que pueblan este insólito escenario. Hay estrellas, agujeros negros, protones, neutrones, electrones, caballos, planetas, peluquerías y personas. Así que, ¿por qué no iban también a ser motivo de estudio en el resumido examen del universo que estamos haciendo aquí?

De los seres humanos hay algo que puede interesarnos mucho aquí. No te hablaré de biología ni del origen del *Homo sapiens*, sino de una capacidad tremendamente misteriosa que todos poseemos: la de tomar decisiones de manera voluntaria.

Piénsalo bien, porque es algo que resulta inquietante. Estás en tu habitación, junto a tus cosas. Tienes la posibilidad de permanecer allí, salir al jardín o ponerte la chaqueta para pasear un buen rato por la ciudad. Esa capacidad para hacer lo que nos venga en gana no parece, a priori, nada enigmática. Desde que somos pequeños sabemos que una parte de nuestra vida la decidimos nosotros. Podemos elegir, tenemos libertad, no somos como las piedras o las hojas de los árboles.

Sin embargo, esta certeza sobre nuestra independencia se tambalea un poco si damos por supuestas algunas de las premisas que baraja la ciencia con absoluta normalidad. Se habla de leyes físicas inviolables, de reglamentaciones cósmicas que la materia no puede desobedecer. Si una molécula no es libre, ¿por qué vamos a serlo nosotros, extraños seres formados de moléculas? ¿Por qué la suma de muchos elementos que no pueden ser libres iba a formar un superelemento que sí lo fuera?

Éste es uno de los problemas más inquietantes que surgen cuando la filosofía y la ciencia deciden dar juntas un paseo. Aunque pueda parecer un hecho de poca relevancia, en verdad se trata de algo fundamental. Nosotros somos también partes del universo; nuestros cerebros son objetos que ocupan un lugar y un tiempo en la naturaleza. Si todo lo demás obedece ciegas leyes perfectamente predecibles, ¿por qué nosotros íbamos a ser una excepción?

Una posible solución sería negar que seamos parte del universo. En ese sentido, estaríamos formados por materia, pero también por algo impreciso que se escapa de las exigencias de las leyes naturales. No se trata de una idea novedosa. De hecho,

todas las religiones del mundo apuntan a esta posibilidad. Personalmente creo que, aunque solucione el problema a primera vista, genera otro todavía mayor. ¿Qué sería esa otra realidad de la que estamos constituidos? El alma, el espíritu, o como quieras llamarlo, requeriría una nueva explicación. Por tanto, esta postura no simplifica las cosas, sino que nos las complica un poco más.

Una segunda solución al enigma sería declarar, sin más, que nuestra libertad es meramente una ilusión. Cuando tú, en tu habitación, decides salir de ella para acudir al jardín a recoger unas flores, en realidad no habrías actuado de forma libre. Las leyes más elementales de la física estarían operando en tu cerebro, obligándote a tomar esa decisión. Ser libre sería, en ese sentido, un fabuloso espejismo.

Aunque cueste creerlo, esta última hipótesis es defendida por muchos científicos, aunque por fortuna no por la mayoría de ellos. Nunca he entendido del todo cómo diablos pueden creer en ella y, al mismo tiempo, vivir con una relativa tranquilidad. Si yo estuviera convencido de que todo lo que hago, digo y pienso no es más que el resultado de la interacción de los átomos de mi cerebro, difícilmente podría tomarme la vida medianamente en serio.

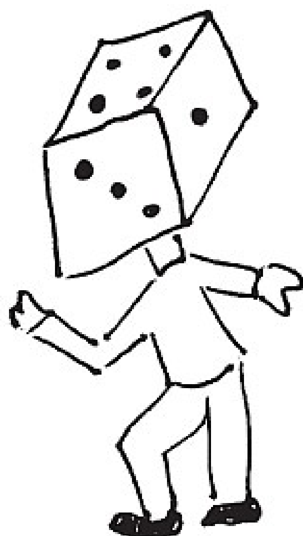
Es evidente que no tengo ningún argumento para echar por tierra esta teoría. Visto desde lejos, cuadra de un modo magnífico con mi propia idea del universo. En apariencia, si yo fuera del todo coherente con mi filosofía, tendría que aceptar que, igual que la materia no es libre, tampoco lo seríamos nosotros.

Pero algo me dice que mi convencimiento de que somos libres está basado en un hecho perfectamente científico. Tócate la nariz. Hazlo ahora mismo. Según las leyes del determinismo clásico, ese gesto lo has hecho porque *tenías que hacerlo*. No has actuado libremente. Es el resultado de la interacción de fuerzas que obedecen a leyes naturales inviolables. ¿Estás dispuesto a creerte eso? ¿Crees de verdad que yo, este libro, la frase que he escrito y que te ha impulsado a que te tocaras la nariz, todo eso, no es más que el resultado de ciegas interacciones, como las que provocan que una pila perfectamente conectada haga girar la cabeza de un ridículo payaso de juguete? Sé que no lo piensas así y, además, tu convicción es, en cierto modo, un pensamiento científico. Resulta experimentalmente obvio que somos libres. Nuestra libertad, si la tomáramos como objeto de estudio riguroso, habría salido ilesa en todas las pruebas experimentales, pasando de ser una hipótesis a un hecho incuestionable. Dicho de otro modo, confío tanto en mi libertad como en la comprobada existencia de Neptuno.

El hecho de que considere el libre albedrío como algo demostrado no implica que pueda darse una explicación acerca de él. La gravitación también era un hecho para Newton, pese a no tener ni la más remota idea de cómo podía funcionar.

Te he comentado dos posibles explicaciones, pero hay otra. Últimamente se ha puesto de moda una tercera. Te adelanto que a mí no me gusta nada, y en seguida sabrás por qué. Según esta teoría, la indeterminación de la materia a nivel cuántico podría darnos una excelente pista para entender el misterio de la libertad humana. Nuestro cerebro, al estar hecho de átomos y partículas subatómicas cuyo comportamiento no está determinado, no sería tampoco algo determinado. La incertidumbre cuántica sería, en ese sentido, la tabla de salvación de la libertad, aquello que rompería las cadenas del determinismo.

Si te soy sincero, jamás he entendido cómo alguien puede tomarse en serio esta postura. Aun en el caso de que la interpretación de la mecánica cuántica basada en la indeterminación fuera cierta, esto no significaría que las pequeñas partículas fueran *libres*; tan sólo implicaría que su comportamiento es *azaroso*. Y un cerebro formado por multitud de minúsculas bolitas azarosas no sería por ello más libre. En realidad, sería espantosamente más caótico. En un intento por recuperar la libertad, los defensores de lo cuántico como baza para matar el determinismo crearían un monstruo todavía más repelente: un ser humano que actúa por azar, como si fuera un dado con brazos y piernas.



Ulises, no soy el tipo más listo del planeta Tierra, ya lo sabes, pero te garantizo que he dedicado mucho tiempo a darle vueltas a este asunto y no encuentro ninguna respuesta que me satisfaga. No entiendo cómo es posible compaginar la existencia de las leyes físicas con la facultad humana para decidir si queremos pizza o ensaladilla rusa. No lo comprendo. Por mucho empeño que le ponga, mi cabeza no da para más.

Me he esforzado muchísimas veces por escuchar argumentos, deseoso de que me convencieran. Lo he hecho con la «mente abierta» (horrible expresión), pero, por muy buena voluntad que pusiera, nunca nada me ha dado una ligera esperanza de entender todo este rematado lío.

Los padres, por norma general, tenemos un extraño miedo a decepcionar a los hijos cuando desconocemos la respuesta a uno de vuestros interrogantes. Solemos improvisar para que no se note demasiado nuestra ignorancia. Yo podría haber actuado aquí de esa manera, dando vueltas al asunto, transcribiendo las posibles respuestas a este enigma sin confesarte que desconozco por completo dónde diablos se halla la explicación verdadera. Pero he optado por decirte la verdad. Tal vez tú, ahora o más adelante, encuentres tu propia explicación. Si es así, me encantaría que la acabaras compartiendo conmigo.

Además, creo que mi duda es, en verdad, mucho más extensa de lo que parece. Considero que nadie en su sano juicio puede tener la certeza de haber dado con una explicación acerca del enigma de la libertad. Nadie sabe por qué podemos tomar

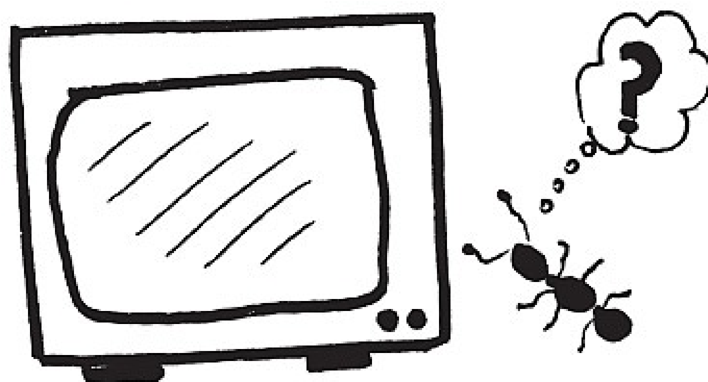
decisiones, por qué una parte de esta ciega maquinaria cósmica puede actuar al margen de ella, poniéndose un poco por encima y alterando la realidad a su antojo.

Ciertamente, la mecánica cuántica nos sorprende con un hecho que, previo a su postulación, ya era del todo sorprendente. El observador, nos dicen, altera la realidad. Pero ¿no es acaso eso mismo lo que hemos creído siempre al dar por descontado que nosotros, con nuestra voluntad, podemos alterar el estado de las cosas? ¿No era eso ya una violación de las leyes naturales cuyo conocimiento teníamos antes de que Bohr y Shrödinger y todos nuestros nuevos amigos hubieran postulado la inverosimilitud de la realidad?

Todo resulta muy raro. Lo era antes y lo sigue siendo ahora. Tal vez en el siglo pasado simplemente se logró cuantificarlo, pasarlo a fórmulas matemáticas, convertirlo en números, pero el enigma, el misterio, el escalofrío en la espalda que nos sobreviene cuando le damos vueltas al asunto, es tan antiguo como nuestra capacidad para pensar.

He querido incluir al ser humano en esta historia de la ciencia porque no hacerlo la hubiera dejado algo coja. Somos una parte del universo, pertenecemos a él, surgimos de sus procesos y del cumplimiento de sus leyes. Y somos nosotros quienes lo abordamos, teorizando sobre él.

No tengo ni idea acerca de si en el futuro se conocerá la respuesta, si algún día averiguaremos la razón por la cual parecemos estar fuera de la realidad, tomando horribles o bonitas decisiones. Cuando era pequeño, me dejó fascinado el argumento de las hormigas. Se suele decir que uno de esos insectos jamás podrá entender el funcionamiento de un televisor, aunque para nosotros pueda resultar algo relativamente fácil. Del mismo modo, según este sencillo paralelismo, nunca seremos capaces de comprender a fondo —ni tan siquiera superficialmente— muchos de los enigmas que este extraño universo nos muestra de un modo casi descarado.



¿Por qué íbamos a poder conocerlo todo? Te comenté que a Einstein le maravillaba nuestra capacidad para aprehender el universo y metérnoslo en la cabeza. A pesar de entender su postura, no puedo evitar que la duda me asalte.

La conexión, la resonancia entre el mundo y nuestra forma de pensar en él, puede no ser absolutamente perfecta. Tal vez tenemos sólo una capacidad mínima, aunque potente, que nos facilita el desarrollo de la tecnología y la especulación por encima,

pero que nos imposibilita el conocimiento profundo de la realidad. Simplemente no lo sé.

Stop. Ponerme trascendente me da una vergüenza tremenda, así que volvamos a la física.

Empezar a unir las cosas

Habrás notado, sin duda, que he ido alterando las descripciones del gigante universo con la historia de la mecánica cuántica. Combinar lo pequeño con lo grande no era sólo un modo de ir frenando el probable aburrimiento que se genera siempre que se trata un tema de manera extensa. Además, era una forma de ir concienciándote de que ambos mundos están algo separados.

Porque eso es precisamente lo que pasa. La mecánica cuántica describe e intenta explicar el comportamiento de la materia a nivel atómico y subatómico. La teoría de la relatividad general, por su parte, es la que se encarga de abordar todo lo demás.

Desde que ambas teorías llegaron al mundo, cada una obtenía éxitos indiscutibles en sus respectivos cometidos. La mecánica cuántica lograba dar una explicación cada vez más satisfactoria de la realidad minúscula, mientras que la teoría de Einstein cosechaba éxitos enormes cuando trataba de abordar la descripción del resto del universo.

Era evidente, por tanto, que antes o después se intentarían unir ambas descripciones en una teoría mayor. Eso es algo que siempre han deseado conseguir los científicos; incluso te diría que es uno de sus principales motores desde que ponen un pie en el suelo por las mañanas. La unificación de explicaciones múltiples ha cosechado resultados espectaculares. ¿Recuerdas cuando te hablé de James Clerk Maxwell? Él unificó la electricidad y el magnetismo, dando lugar al electromagnetismo. Eso fue un gran éxito, pero no el único. Muchísimo antes, Isaac Newton también había logrado crear una teoría que explicaba fenómenos que antes pertenecían a mundos distintos. La caída de las piedras era una cosa. El giro de la Luna, otra. Gracias a la gravitación universal, consiguieron ser, en un sentido muy hondo, *la misma cosa*.

Por tanto, la fusión entre la mecánica cuántica y la relatividad general era una aspiración que se convirtió en necesaria. No podíamos tener dos teorías, una para explicar lo pequeño y otra para comprender lo grande. Esa separación resultaba artificial. El mundo no puede estar dividido. El universo es uno, no dos. Debía de existir una ley subyacente en ambas, una que las aglutinara, que las abrazara.

Se buscó desesperadamente esa teoría, día a día. Los científicos robaron tiempo a su sueño para encontrar la superteoría, la completa explicación cósmica, pero por mucho que lo intentaran, por muchas horas que le dedicaran, por muy listos que fueran, parecía que todo estaba condenado al fracaso.

El mismo Einstein dedicó gran parte de su vida a la búsqueda de esta teoría que unificara lo grande con lo pequeño, pero murió sin conseguirlo.

Imagina que tú quieres entender cómo funciona un avión. Te dedicas a estudiarlo a fondo y descubres dos teorías para comprenderlo. Por un lado, posees una que te da una descripción precisa de cómo funciona el motor, y también hallas otra, radicalmente distinta, que te da razón del modo en el que funcionan las alas. Utilizando las dos teorías por separado, comprendes el funcionamiento del avión al completo. Ahora supón que la teoría que explica las alas entra en contradicción con la que explica el motor. Sin duda no quedarás satisfecho y dirás que algo no marcha como debiera. Lo que a ti te gustaría de verdad es encontrar una explicación única, algo que englobe motores y alas, porque un avión no son dos cosas, sino una.

Del mismo modo, fundir la relatividad con la mecánica cuántica constituía un sueño para los físicos porque supondría ver el universo como «algo único». Además, el problema era bastante profundo, porque, al igual que en el ejemplo de los aviones, ambas teorías resultaban incompatibles. Y eso resultó ser muy frustrante. La relatividad y la mecánica cuántica chocan frontalmente. Si es verdad una, no puede serlo la otra. Pero lo insólito es que, consideradas al margen, de manera individual, de forma separada, ambas funcionaban de un modo magistral.

¿Qué podía estar pasando?

Hemos de hablar de lo nuestro

Los físicos reconocieron que no tenían ni idea de cuál podía ser la causa de ese divorcio, pero incluso así intentaron hacer todo lo posible para que la pareja se reconciliara. Y ¿sabes qué? Todavía lo siguen intentando, porque esa teoría aún no ha sido encontrada.

Visto de forma irónica, es como si Albert Einstein, desde su tumba, estuviera sonriendo altanero mientras suelta algo así como: «Ya os lo decía yo. Si no cambiáis vuestros misterios cuánticos, mi relatividad siempre va a estar disconforme.»

El problema fundamental es que la mecánica cuántica no puede explicar la fuerza de la gravedad, algo que, como has visto, sí que hace muy bien la relatividad general con su idea del espacio curvado. Del mismo modo, la teoría de Einstein no tiene casi nada que decir acerca del modo en el que funcionan las cosas pequeñas.

Pero los nuevos físicos quieren que el matrimonio se avenga sin necesidad de que cambie el carácter de ninguno de los miembros de la pareja. *Yo soy así, y has de aceptarme*. Los científicos están organizando cenas románticas cada dos por tres. Ponen velas en una mesa apartada y sientan a ambas teorías frente a frente, adornando el encuentro con una estupenda música de fondo.

Entra en situación. Es de noche, y en el interior de un restaurante con vistas al universo, la pareja está sentada a una delicada mesa. Suena música de Mozart.

MECÁNICA CUÁNTICA: Tenemos que hablar.

RELATIVIDAD: Hace tiempo que intento hacerlo, pero nunca me has hecho caso.

MECÁNICA CUÁNTICA: Deja de mostrarte siempre así. Sabes que, invariablemente, el problema ha sido que no terminas de aceptarme.

RELATIVIDAD: En un aspecto es verdad, pero también es cierto que tú no me aceptas a mí.

MECÁNICA CUÁNTICA: No digas eso. Sabes que te acepté siempre, desde el primer momento. Además, tú estás confirmadísima. Aunque yo no apostara por ti —cosa que sabes que no es verdad—, la experimentación me habría obligado a hacerlo.

RELATIVIDAD: No hablo de que me aceptes en tanto que teoría física. Ya sé que lo haces. Faltaría más. Estarías loca si no lo hicieras. No me refiero a eso. Cuando me quejo de que tal vez no me aceptes, me refiero a la implicación filosófica que llevó a mi formulación.

MECÁNICA CUÁNTICA: No sé dónde quieres ir a parar, y te ruego que no levantes la voz. Nos están mirando.

RELATIVIDAD: Claro, como nos están mirando, como tenemos observadores, entonces crees que existimos, y a ti te haría más gracia permanecer en un limbo fantasmagórico. Te conozco como si te hubiera parido.

MECÁNICA CUÁNTICA: No seas así. Los físicos nos han organizado esta cena para que nos reconciliemos, y no veo en ti ninguna intención de que lo hagamos.

RELATIVIDAD: Me encantaría, te lo aseguro. Creo que incluso más que a ti, pero te rogaría que aceptaras —y no es por orgullo— que jamás has confiado en mi base filosófica.

MECÁNICA CUÁNTICA: Y dale con tu base filosófica. ¿De qué demonios me estás hablando?

RELATIVIDAD: Me parece imperdonable que me preguntes eso. ¿Cómo que de qué te estoy hablando? De la idea de que el universo, en un sentido muy profundo, es rematadamente real.

MECÁNICA CUÁNTICA: Ahora sí que no te entiendo. ¿Qué tienes tú que ver, relatividad, con la idea de un universo que sea real?

RELATIVIDAD: No sé si te sonará, pero mi padre, Albert Einstein...

MECÁNICA CUÁNTICA: Conozco perfectamente el nombre de mi suegro.

RELATIVIDAD: A veces parece que se te olvida. Pues mi padre, cuyo nombre dices conocer tan bien, me ideó teniendo en mente un cosmos ordenado en cuya estructura podíamos confiar plenamente, un espacio-tiempo real en el que había incrustados sucesos reales y en el que operaban leyes cuya existencia era incuestionable. Pero ahora vienes tú y...

MECÁNICA CUÁNTICA: Has vuelto a alzar la voz.

RELATIVIDAD: *(Bajando un poco el tono de voz.)* Ahora vienes tú, digo, y pretendes que todo eso se vaya al garete. ¿Y te extrañas de que no nos llevemos bien?

MECÁNICA CUÁNTICA: ¿Insinúas que el motivo por el cual parecemos ser irreconciliables es que las bases filosóficas que se utilizaron para crearnos eran distintas?

RELATIVIDAD: ¿Te sorprendes de que piense eso? ¿Tan raro te suena? A mí me parece bastante lógico pensar que, si el trasfondo filosófico de nuestros autores fue radicalmente distinto, ello pueda haber tenido algo que ver en nuestras continuas discusiones.

MECÁNICA CUÁNTICA: Creo que te equivocas. En realidad, nunca ha habido ninguna filosofía en mi base. Los que me crearon, a diferencia de tu creador, no tenían ningún prejuicio sobre el modo en que tenía que funcionar la realidad.

RELATIVIDAD: No tener prejuicios filosóficos es otra forma de tener una filosofía: la de que *todo vale*.

MECÁNICA CUÁNTICA: No, te equivocas. No vale todo. Solamente vale aquello que se calcula y que se observa. ¿Qué culpa tengo yo de que la materia a nivel atómico se rija por mis azarosas leyes? Yo no he hecho el mundo, ¿sabes? Yo no me lo invento; tan sólo lo describo.

RELATIVIDAD: Pero niegas la realidad. Afirmas que sólo al ser observada adquiere todas las características que otorgamos a las cosas, y eso es una locura. Einstein, mi...

MECÁNICA CUÁNTICA: Tu padre, sí, tu padre. No es preciso que presumas de papá cada dos segundos.

RELATIVIDAD: Bien, pues él afirmó en cierta ocasión que le gustaría pensar que la Luna existe en el cielo aunque nadie la esté mirando.

MECÁNICA CUÁNTICA: Pero es que la Luna *continúa* en el cielo aunque nadie la mire.

RELATIVIDAD: ¿En qué quedamos?

MECÁNICA CUÁNTICA: Aun en el supuesto de que algunas partículas diminutas vieran condicionada su existencia a la presencia de un observador —y te aseguro que no estoy convencida de que eso sea así—, la Luna podría existir aunque nadie la mirara.

RELATIVIDAD: O sea, un átomo puede depender para existir de un mirón, pero la Luna, que es un montón de átomos unidos, puede tener una existencia propia, independiente de si ese mirón existe.

MECÁNICA CUÁNTICA: No voy a entrar en tu juego. Emplear el término *mirón* en vez de *observador* es despectivo, pero simularé no haberlo oído. Pero sí, la acumulación de elementos que dependan del mirón puede no depender de él.

RELATIVIDAD: Juegos mentales, simplemente juegos mentales para no aceptar que estás equivocada por completo.

MECÁNICA CUÁNTICA: ¿Sabes cuál es tu problema? Que te crees todo lo que dicen de mí.

RELATIVIDAD: Ahora estoy perdida.

MECÁNICA CUÁNTICA: Hay muchas interpretaciones acerca de mi carácter. Muchísimas; quizá tantas como físicos teóricos. Y no en todas ellas se niega la existencia objetiva.

RELATIVIDAD: Vaya, ahora va a resultar que la culpa no es tuya, sino de tus intérpretes.

MECÁNICA CUÁNTICA: De mis intérpretes, no: de tu credulidad. Te lo crees todo. Cualquier comentario que se hace acerca de mí te lo tomas como si realmente me estuvieran definiendo. Además, ésta es una discusión antigua que ya empieza a cansarme. Tenemos muchos más problemas, ¿sabes? Y debemos afrontarlos con realismo.

RELATIVIDAD: ¿Realismo? ¿Has dicho tú realismo?

MECÁNICA CUÁNTICA: Te agradecería que te ahorraras las ironías. Lo cierto es que tenemos grandes problemas. Tú y yo no casamos, no cuadramos. Por separado funcionamos muy bien, pero cuando nos juntamos para entender el mundo, fracasamos. Nuestras fórmulas no se acoplan.

RELATIVIDAD: Fracasamos cuando nos juntamos para entender el mundo, dices. A lo mejor es porque tú nunca has querido entender el mundo. ¿Cómo vas a desear entender un mundo que niegas?

MECÁNICA CUÁNTICA: Yo no niego el mundo. Sólo digo que depende, en un cierto grado, de la observación.

RELATIVIDAD: Es otra forma de enunciarlo. Lo que yo quiero expresar es que, probablemente, todas nuestras discrepancias, nuestra incapacidad para unirnos en una gran teoría, se deban a que nuestras filosofías son distintas, porque tú nunca has creído en la realidad. ¿Cómo vamos a juntarnos para entender la realidad si tú no te la tomas en serio?

MECÁNICA CUÁNTICA: Estoy harta. De ti y de estas cenitas que nos organizan para ver si hacemos las paces de una vez por todas. Tu problema es que no puedes despegarte de la figura paterna.

La mecánica cuántica se levanta y se va, dejando sola a la relatividad escuchando una sonata para violín y piano de Mozart.

La imposibilidad de fusionar la física cuántica con la relatividad puede tener otras causas, pero hay quien cree que su nacimiento, generado con filosofías distintas, ha tenido algo que ver en el asunto. En este sentido —creo que ya lo habrás notado—, simpatizo más con la relatividad. Pero, como siempre, puedo estar radicalmente equivocado.

Desde que empezaron a detectarse estas enormes desavenencias matrimoniales entre los dos grandes pilares de la física, se han propuesto, como te explicaba, innumerables hipótesis destinadas a reconciliarlos, creando una nueva teoría. Ahora te cuento la más bonita de todas.

Cuerdas

En la vida, en ocasiones, un problema se soluciona cuando aparece otro. De repente algo nos dice que hemos de ponernos las pilas. Cuando sólo tenemos uno, damos largas, esperando a que se arregle, pero el hecho de que surja otro nos espabila y se hace más urgente hallar soluciones. Algo así ocurrió en la física. Uno de esos problemas es el que has visto, cotilleando en la cena romántica entre la relatividad y la mecánica cuántica. El otro, totalmente inédito, fue la proliferación de partículas fundamentales. Había muchas, y eso resultó ser un fastidio.

De nuevo todo tiene que ver con el deseo de los físicos de simplificarlo todo. No se trata de un capricho. Hay algo que nos dice a todos —seamos o no científicos— que la realidad, sea lo que fuere eso, tiene que ser profundamente simple.

Para que sepas de lo que te estoy hablando, hemos de volver a prestar atención a los átomos. En un principio, tan sólo te he hablado de la existencia de tres partículas elementales: los protones y neutrones, que forman el núcleo, y los electrones, que de forma nebulosa ocupan la capa exterior.

Durante los años posteriores al descubrimiento de estas partículas, los científicos postularon, y posteriormente detectaron, la existencia de otras. Te hablé, recuérdalo, del muón, aquel primo del electrón que sirvió a los científicos para confirmar la hipótesis de la dilatación temporal. El protón y el neutrón resultaron no ser partículas elementales, sino que estaban formadas por otras cositas llamadas *quarks*. Eso tenía una ventaja y un inconveniente.

La ventaja evidente era que parecía estar encontrándose, por fin, el constituyente último de la materia. El protón y el neutrón estarían compuestos por las mismas sustancias; una combinación más o menos complicada de quarks. Es como si dentro de los protones y de los neutrones habitaran nuevas partículas, moviéndose de tal modo que lograran darle las características exactas que tenían. Esto hubiera sido alentador para Demócrito, cuyo deseo era reducir la realidad a los mínimos constituyentes. Los quarks parecían ser un buen candidato.

El inconveniente, por otro lado, era que había varios tipos de quarks. Y, además, el electrón no parecía estar compuesto por ellos. Todo era muy raro y complicado. Si se sumaran todas las partículas «fundamentales», arrojarían un número absurdamente elevado. Nada menos que dieciocho.

¿Por qué dieciocho? Coincidirás conmigo en que la existencia de dieciocho partículas fundamentales resulta algo contradictorio. El término *fundamental* y un número mayor que uno es algo que parece contradecirse, atentando además contra nuestro deseo de belleza y unidad. Si la materia está formada por algo, debe ser tan sólo una cosa.

Imagínate que Demócrito volviera a aparecer, en este caso a mediados del siglo XX. Su último encuentro imaginario con Rutherford, como recordarás, fue bastante interesante. Ahora, el sabio griego está realmente confuso. Me lo imagino leyendo las revistas científicas, aturdido y molesto por el camino que están tomando los acontecimientos. Sin duda escribiría a su maestro una carta que le enviaría al pasado:

> Querido Leucipo:
>
> El siglo XX es muy extraño. Los científicos de esta época tienen un grave problema. La idea que tú y yo lanzamos al mundo cuando postulamos la existencia de los átomos fue tomada muy en serio, pero cada vez la complican más. Nosotros defendimos que el cosmos entero podía reducirse a átomos y vacío, y aunque pensamos que existían varios tipos de esas partículas, cada uno con su forma y su tamaño, lo cierto es que tenía en mente un único elemento. Pero ahora me siento culpable. Tal vez debería haber sido más contundente y haber afirmado que sólo era uno. Por lo que estoy viendo, mi nombre y el tuyo son ahora muy respetados, y tal vez, si no hubiéramos imaginado átomos de distintas formas, estos científicos de la actualidad se habrían esforzado en hallar solamente uno, desechando cualquier hipótesis que tuviera como resultado la presencia de muchos de ellos. Sé que tú piensas como yo, porque ahora estos tipos del futuro aseguran que hay dieciocho partículas fundamentales. ¿No te parecen muchas, Leucipo? ¿Verdad que sólo debería haber una? Me quedaré en este siglo algún tiempo más, porque tengo la firme esperanza de que, al final, lograrán reducirlas a una sola.
>
> Te mantendré informado, maestro.

Las reticencias de Demócrito a la presencia de tantas partículas no son sólo estéticas, te lo garantizo. Su deseo de unidad es también conceptual. Si buscamos *reducir* la materia a su nivel más profundo, eso es precisamente lo que tenemos que hacer: *reducir*.

Los científicos más espabilados vieron, por tanto, que había dos problemas en la física de su época y se preguntaron si era posible crear una nueva teoría que solucionara de un plumazo ambos asuntos. Eso, sin duda, sería magnífico.

Y, claro está, hicieron todo lo posible por hallar esa explicación unitaria. No era una tarea sencilla, pero las ventajas que aportaría serían inmensas. ¿Cómo debería ser esa nueva visión de la realidad?

Una excelente forma de entenderlo es pensar que la materia, a nivel muy pequeño, está formada por algo tremendamente simple, tanto como sea posible, una sustancia tan sumamente elemental que pudiera generar, con pequeñísimos cambios, la complejidad de todo lo que vemos.

Es una exigencia tremenda, pero los físicos no suelen ser tipos que se amilanen ante las cosas difíciles. Encontrar ese *algo* sencillo fue la tarea a la que muchos dedicaron su vida. Y entonces, a mediados de los años setenta del siglo XX, algunos físicos propusieron una hipótesis bastante loca.

La cosa más simple jamás concebida

Afirmaron que todas las partículas fundamentales que se habían descubierto, las dieciocho, podían ser explicadas en función de la vibración de unos objetos unidimensionales.

¿Qué significaba eso? ¿Qué son objetos unidimensionales? Antes ya te he hablado de las dimensiones, cuando te expliqué la relatividad. Recordarás que tú estás hecho en tres dimensiones: tienes altura, longitud y anchura. El papel que estás leyendo ahora, la hoja de este libro, posee sólo dos: longitud y anchura. Pues bien, los objetos propuestos por estos físicos tendrían exclusivamente una dimensión. Serían como una línea, que no tiene ni grosor, ni anchura, sólo longitud. Como un objeto así, alargado y sólo alargado, se parece mucho a una cuerda, esta teoría se conoce como *teoría de cuerdas*.

Especularon acerca de la posibilidad de que el constituyente último de la materia no fuera una partícula, sino esta cuerda que tenía, además, una curiosa propiedad: era capaz de vibrar. Dependiendo del modo en que lo hacía, adquiría la característica de una partícula o de otra.

Suele ponerse siempre un ejemplo musical. Podría desecharlo en mi vanidoso deseo de ser original a tus ojos, pero en ocasiones es prudente echar mano de los símiles que han resultado útiles. Guardaremos, pues, mi ridículo orgullo y haré para ti la analogía del violín.

Es fácil de entender. Tú sabes que los violines tienen cuatro cuerdas, cada una afinada para generar una nota distinta: sol, re, la, mi. Vamos a eliminar, para nuestro ejemplo, las tres primeras. Nos quedamos sólo con la más aguda, la situada a la derecha del instrumento si lo miramos de frente, la que genera la nota mi cuando la cuerda está al aire.

Bien, esa simple cuerda, siendo una sola «cosa», es capaz de adquirir muchas propiedades distintas, en función de dónde pongamos el dedo de nuestra mano izquierda mientras la frotamos con el arco que sostenemos en nuestra mano derecha.

Muchas notas distintas pueden aparecer con una sola cuerda. Siguiendo el paralelismo, podríamos decir que una sola de esas cuerdas de las que hablan los físicos podría generar, en función de su vibración, muchísimas partículas distintas. En realidad, todas las existentes, las incómodas dieciocho detectadas.

Se trata de una explicación genial, sencilla y hermosa. Con esa simple idea conseguimos reducir toda la complejidad del mundo a una sola cuerda. El universo entero, con sus estrellas, galaxias, zapatos, pájaros y juguetes, estaría formado *únicamente* por cuerdas idénticas que zumbaran de manera distinta.

Esta idea gustó a muchos físicos, pero otros la consideraron una solemne tontería. Sus detractores eran conscientes de que, en efecto, era algo capaz de explicarlo todo, pero tenía un grave inconveniente: su imposibilidad de ser confirmada. ¿Cómo iban a detectarse esas cuerdas, por muy bella que fuera la teoría que proponía su existencia?

Señalar este inconveniente resultaba bastante lógico. Las teorías científicas han de poder ser confirmadas o desmentidas de alguna manera. Postular algo que jamás va a poder ser contrastado, por magnífico que sea, no es una forma científica de comportarse.

Pero los defensores de la teoría de cuerdas tenían una extraña fe en ella. Algo les decía que *debía* ser verdad. Ya has visto lo tremendamente útiles que pueden ser las matemáticas para la física. Los *cuerdistas* —si se me permite esta feísima expresión— empezaron a hacer cálculos y vieron que todo era consistente con la realidad de la materia que se conocía. Pero, además, su teoría poseía otra ventaja inmensamente mayor: era capaz de reconciliar la relatividad con la mecánica cuántica. Dicho de otro modo, las cuerdas eran capaces de explicar también la fuerza de la gravedad. Lo tenían todo.

Las matemáticas empleadas para que unas simples e imaginarias cuerdas de una dimensión pudieran explicar, por sus vibraciones, todas las propiedades de la materia eran realmente complicadas. Y el resultado que daban era espectacular. Sería necesario un universo de diez dimensiones. Nueve espaciales y una temporal. Es decir, que había que añadir al espacio seis dimensiones a las tres que ya tenemos.

Las cuerdas eran, para estos físicos, vibraciones de ese tejido de diez dimensiones. Las partículas que vemos serían tan sólo la parte visible que aparece en nuestro espacio, como un corte limpio de navaja de una sola dimensión, una pequeña porción de esa cuerda que habita en las diez dimensiones.

¿Recuerdas cuando te hablé del universo de cuatro dimensiones que Einstein nos regaló a todos? Ya vimos que era imposible para nosotros concebirlo. Como no dejo de repetirte, vivimos en tres dimensiones y no podemos hacer nada para visualizar la cuarta. Con las diez dimensiones totales ocurre tres cuartos de lo mismo. Nadie, ningún ser humano, es capaz de imaginar ese espacio de nueve dimensiones más el tiempo. Pero la imposibilidad de visualizarlo mentalmente no impide que las matemáticas puedan hacer cálculos complejos sobre él. La teoría de cuerdas tenía, no obstante, un feo inconveniente. No era una teoría, sino cinco.

Sobran cuatro teorías

Con la intención de eliminar dieciocho partículas, los físicos habían creado un monstruo con cinco cabezas. Era evidente que había que eliminar cuatro de ellas. Cinco teorías para explicar la realidad eran demasiadas. Imagínate que hubiera cinco teorías de la relatividad distintas. Imagínate una conversación entre un físico teórico y el universo.

FÍSICO TEÓRICO: Sé que tú, en el fondo, eres concebible.
UNIVERSO: ¿A qué te refieres?
FÍSICO TEÓRICO: Que debes ser abordable.

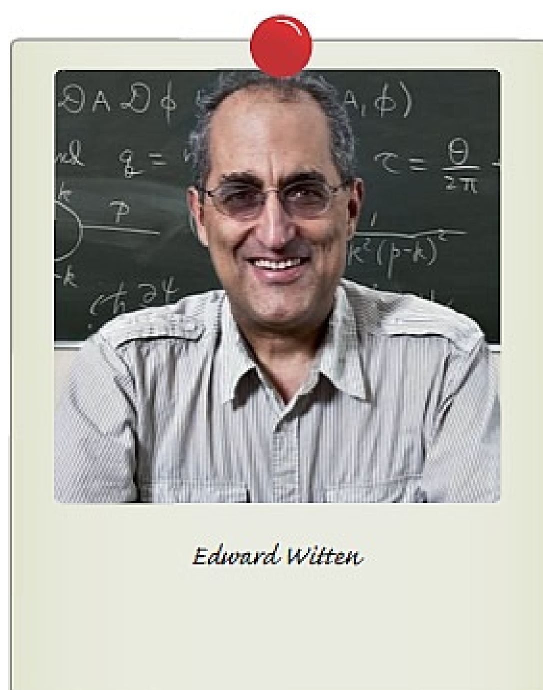
UNIVERSO: Creo que no logro entenderte.
FÍSICO TEÓRICO: Quiero decir que, con un mínimo de hipótesis, puedes ser abarcado.
UNIVERSO: ¿Puedes no andarte con rodeos, por favor?
FÍSICO TEÓRICO: Vale. Seré claro: tienes demasiadas partículas.
UNIVERSO: Preferirías que sólo tuviera una, ¿no?
FÍSICO TEÓRICO: Sí.
UNIVERSO: Pues aplícate el cuento.
FÍSICO TEÓRICO: ¿Cómo? Ahora soy yo el que no termino de entenderte.
UNIVERSO: Es muy fácil. Si quieres que yo tenga sólo una partícula, ten tú solamente una teoría.

En efecto, la simplicidad que se exige al universo en su número de partículas debe exigírsele al físico en su número de teorías.

Y fue entonces cuando apareció un tipo extraordinario, un hombre de una inteligencia asombrosa. Para unos, es el físico vivo más importante del mundo.

Cuentan que es vanidoso, pero ciertamente tiene sobrados motivos para ello. Sus colegas suelen decir de él que es el más listo de todos. Eso debe de hacer subir los humos a cualquiera.

Y no se trata de elogios gratuitos. Edward Witten, nacido en Estados Unidos en 1951, tiene una capacidad inmensa para las matemáticas y para el manejo de conceptos complicados. En los años ochenta, tras haber estudiado la teoría de cuerdas y haberse sentido incómodo por la presencia de cinco distintas, llegó a una conclusión maravillosa: las cinco teorías eran, en el fondo, la misma. Se trataba de dos modos distintos de afrontar el asunto. Y lo que hizo, utilizando las matemáticas de un modo asombrosamente mareante, fue unificarlas en una sola explicación.


Edward Witten

Witten dio una conferencia y presentó su teoría. Ésta era el resultado de unificar cinco teorías en una, aunque aumentaba el número de dimensiones. Ya no eran diez, sino once. El incremento de una dimensión parecía ser un precio modesto y perfectamente asumible a cambio de tener sólo una teoría de cuerdas. Witten la llamó *teoría M*. Nadie sabe por qué. Se trata de un secreto que él tiene bien guardado, pero el nombre ha conseguido implantarse y así es como se la conoce. Hay quien dice que la *M* significa «membrana». Otros, que es la *W* de su apellido, pero puesta boca abajo.

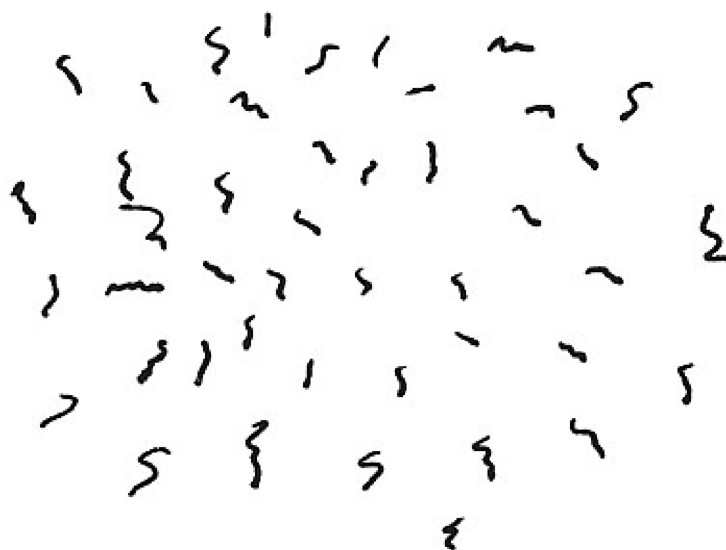
Todavía no se ha demostrado que esta teoría sea correcta, pero incluso los físicos que tenían más reticencias a aceptarla empiezan a verla con mejores ojos. Pese a la distancia y al escepticismo propio del científico ante algo cuyas pruebas no han sido aportadas, la teoría M es una excelente candidata para explicar de qué está hecho el mundo.

Demócrito, sin duda, estaría más próximo a los planteamientos de Witten que a la confusa existencia de muchas partículas. Su antiguo átomo, imaginado en la soleada Grecia, podría ser en realidad una cuerdecita que vibra.

¿Y qué significaría eso?

Siempre que algo viene a simplificar el mundo, nos trae también un asombro añadido. La complicación nos crea aturdimiento, pero la simplicidad genera estupor. ¿Cómo es posible que la existencia de tantas cosas distintas se deba sólo a unas cuerdecitas que vibran en distintas frecuencias? Cuando empleo aquí la palabra *todo*, no estoy siendo poético, sino riguroso. Me refiero a todo: tus ojos, tus emociones, tu casa, el suelo que pisas, la galaxia de Andrómeda, el planeta Urano, tus uñas, la lluvia, las palmeras, el pescado congelado, el cartón. Cualquier cosa que puedas nombrar e imaginar no sería más que la suma de muchas cuerdas que se balancean en un universo de once dimensiones y de las que sólo podemos ver cómo asoman tímidamente una patita.

El tamaño de esas cuerdas, según los cálculos matemáticos, tendría que ser extraordinariamente pequeño. Un protón, esa partícula diminuta hasta el vértigo, sería miles de millones de millones de millones de veces más grande que una simple cuerda. El universo, Ulises, es realmente demencial.



Cuerdas. Tal vez lo único que exista.

¿Nos estamos pasando?

Las cuerdas son unas candidatas excelentes para explicar las cosas. A este tipo de teorías, los físicos las llaman *teorías del campo unificado* (algo que siempre me ha recordado al nombre de un posible sindicato agrario) o *teorías del todo* (una expresión algo más pomposa). Son una colección de fórmulas matemáticas que, convenientemente manejadas, pueden ofrecer una descripción precisa de la realidad. Einstein intentó encontrar una, la buscó con ansiedad desde 1915 hasta que falleció cuarenta años después. Pero no pudo conseguirlo. Eso nos da una pista de lo difícil que debe de ser hacer algo así. Entender el universo es tremendamente complicado. No resulta ninguna estupidez preguntarse si se trata de una ambición desmedida (recuerda la analogía de las hormigas y el televisor), pero, aunque ése fuera el caso, eso no significaría que tuviéramos que abandonar el intento. El motivo por el cual los científicos trabajan para entender el mundo es doble. Por un lado, efectivamente desean conocerlo, pero también es importante la satisfacción del intento, el ejercicio, el hecho de estar haciéndolo.

Como sabes, a veces pinto. Utilizo rotuladores baratos y hojas de papel normal. En términos artísticos, es obvio que no lo hago bien, pero no es el resultado lo que me impulsa a pintar, sino el sencillo hecho de estar haciéndolo. Dibujo y pinto para estar dibujando y pintando, simplemente. Sin más.

Algo así ocurre también con los científicos. La satisfacción de estar en la tarea, de buscar y rebuscar posibilidades para explicarlo todo, es algo que de por sí les resulta satisfactorio. El «¡Eureka!» es muchas veces previo al descubrimiento e independiente de él. En realidad, se encuentra extendido a lo largo de todas sus carreras, desde que empezaron a estudiar hasta el final. Por eso, plantearse si es una ambición exagerada

conocerlo todo, pese a ser una pregunta perfectamente legítima, constituye una cuestión que no importa para nada a los que se dedican a estudiar el cosmos. «Da igual que todo sea desmedido, no importa que jamás lo logremos.» No es eso para lo que están. Su actividad se tiene a sí misma por objetivo. Su finalidad consiste en estar buscando.

Si te soy sincero, lo que más me emociona de la teoría de cuerdas no es que pueda ser cierta. Hay una parte de mí a la que eso le importa bien poco. Lo que realmente me impresiona es que, con la ayuda de muchas matemáticas y bastante observación, se haya podido hallar una explicación probable. Eso, en sí mismo, ya es un logro magnífico. La idea de un *tal vez* es de por sí espectacular. Es como si pudiéramos verle las costuras a la naturaleza, o como si ella fuera una cama y nosotros pudiéramos mirar debajo. Aunque nunca logremos comprender del todo el funcionamiento del universo, debemos estar contentos, porque somos capaces de barajar hipótesis más o menos coherentes.



Pero hay otra forma de enfocarlo, menos optimista y entusiasta. Según algunos, toda la teoría de cuerdas no es más que una floritura matemática, algo que encaja muy bien con los hechos que observamos en el mundo, pero tal vez nada más que eso. Las críticas tienen en su origen el siguiente razonamiento: una teoría no debe explicar sólo lo que ocurre, sino que ha de hacer predicciones nuevas, y la de cuerdas hace pronósticos, pero éstos no pueden verificarse de momento. Nuestra tecnología es aún demasiado rudimentaria para hacerlo.

Entonces, ¿qué hemos de pensar? No tengo ni la más remota idea, Ulises. De nuevo todo me resulta tremendamente complicado. Imaginarme once dimensiones me supera, para qué voy a engañarte.

La teoría de cuerdas no es la única. Hay otras candidatas, englobadas bajo el nombre de *gravedad cuántica*. La que le sigue en importancia, quizá, es *la teoría de la gravedad cuántica de bucles*. No te asustes, porque no voy a explicártela. De hecho, yo no termino de entenderla del todo (tampoco comprendo muy bien la teoría de cuerdas, pero al menos resulta algo más intuitiva). Pero hay muchas más. En realidad

se cuentan por decenas y tienen unos nombres que, si se leen con cierto sentido del humor, pueden llegar a provocar la carcajada: *teoría de la supergravedad*, *geometría no conmutativa*, *triangulación de la dinámica de causas*, *teoría de los twistores*... En fin, hijo mío, que vivimos en una época de muchos intentos. Probablemente, dentro de doscientos años, cuando los historiadores de la ciencia analicen nuestro tiempo, lo describirán como algo confuso, plagado de dudas, algo propio de los momentos en los que se está a punto de encontrar algo y no se sabe muy bien qué diablos puede ser.

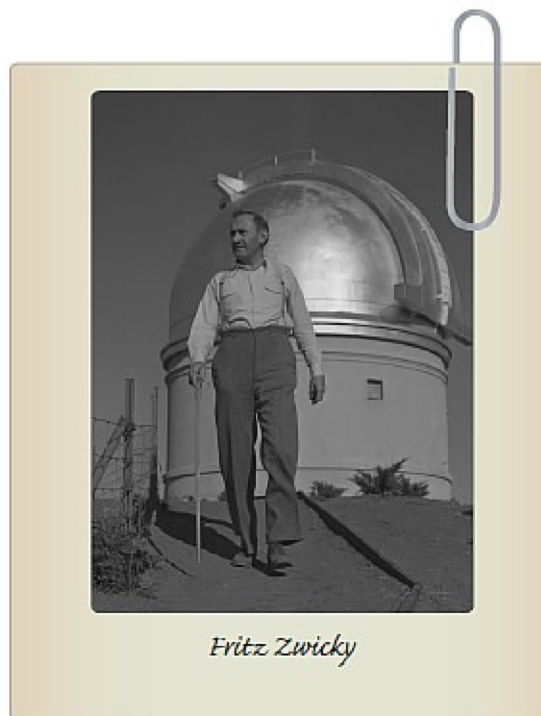
La gente, cuando se pone pedante, llama a esos instantes de la historia *momentos previos a un cambio de paradigma*. Pero tú y yo podemos llamar a eso mismo *estar hecho un gigantesco lío*.

Oscuridad

Ulises, tengo que decirte algo. Podría haberlo hecho antes, y tal vez eso hubiera sido lo más razonable, pero mi deseo de sorprenderte es mayor que la lógica narrativa. Te he ocultado la existencia de una cosa endiabladamente inquietante.

De todas formas, en mi descargo he de decir que ahora estás en mejores condiciones de apreciar lo que voy a comunicarte. En ocasiones, como consecuencia de nuestro deseo de contarlo todo cuanto antes, olvidamos que siempre es aconsejable tener un poco de paciencia. En realidad, estoy convencido de que, si te lo hubiera dicho antes, no habrías entendido nada.

¿Estás preparado? Te lo soltaré sin rodeos: no tenemos ni idea de cuál es la composición del 90 por ciento de nuestro universo. Ya está dicho. Sé que es duro escuchar algo así, sobre todo cuando estábamos convencidos de que este gigantesco cosmos estaba hecho de protones, electrones, neutrones, fotones, muchísimo espacio-tiempo y algún insignificante detallito más.


Fritz Zwicky

La culpa de que te hayas llevado este susto la tiene el señor que aparece aquí fotografiado. No podrás negarme que su cara es simpatiquísima. Este astrónomo, llamado Fritz Zwicky, estaba investigando en los años treinta del siglo pasado el comportamiento de las galaxias. Como ya sabes, su existencia acababa de ser confirmada por Hubble, dando la razón a los hermanos Herschel, y estos gigantescos objetos se convirtieron rápidamente en un atractivo tema de estudio.

Una de las cosas que suelen hacen las galaxias es girar sobre sí mismas. Para ser rigurosos, lo hacen las millones de estrellas de las que están formadas. Zwicky se interesó por su velocidad de rotación.

Desde Newton sabemos que los planetas que están lejos del Sol giran más despacio que los que se encuentran próximos a él. Eso se entiende sin dificultad si recordamos aquella ley que nos aseguraba que, a mayor distancia, menor fuerza de atracción. Si un planeta lejano al Sol empezara a aumentar su velocidad de traslación, inmediatamente saldría disparado al espacio, y si otro cercano, como Mercurio, disminuyera el ritmo de su marcha, terminaría cayéndose al Sol y se abrasaría, lo cual, bien mirado, tampoco supondría una gran pérdida (resulta fácil hacer bromas sobre Mercurio, porque sabes que jamás se leerá allí este libro).

Te he recordado la ley de Newton (que en este caso es aproximadamente igual a la de Einstein) para que tengas presente que la cantidad de masa determina la velocidad de rotación. Por tanto, resulta obvio pensar que la cantidad de materia de una galaxia también establecerá lo rápido que ésta gira sobre sí misma.

Pues bien, nuestro simpatiquísimo astrónomo detectó algo raro. Sus observaciones no cuadraban y eso le llenó de perplejidad. Para que las galaxias giraran como lo hacían, deberían tener más masa de la que se podía ver. Iban demasiado rápido y eso implicaba la existencia de una masa oculta. ¿Dónde estaba esa masa? ¿Por qué no se veía?

Nuestro hombre afirmó que hay mucha materia por ahí arriba que no podemos ver. Una especie de masa escondida, capaz de ejercer una gran fuerza de atracción, pero que él se veía incapaz de describir.

Nadie hizo caso a Fritz Zwicky. Acababan de ser descubiertas las galaxias y se pensó, injustamente, que aún era demasiado pronto como para especular acerca de ellas.

Tuvieron que pasar muchos años para que los científicos empezaran a tomar en serio la posibilidad de la presencia de una masa invisible. Hoy día, a eso se le llama *materia oscura*, y forma parte del día a día de todos los astrónomos del mundo.

Pero ¿qué es?

Los físicos especularon. Como auténticos detectives, empezaron a buscar entre los múltiples sospechosos. ¿Qué objetos existen pero no se ven? Ésos tenían que ser los primeros candidatos. Se propuso, por ejemplo, que podría tratarse de agujeros negros. Ya has visto que estos cuerpos ejercen gran fuerza de atracción, tienen muchísima masa y, lo más importante, no se ven. Tal vez, pensaron, haya muchos de ellos distribuidos dentro de las galaxias. Eso explicaría la presencia de una mayor masa que provocara que las galaxias tuvieran que girar más rápido de lo que estaba previsto.

Sin embargo, no era así. Como consecuencia de mediciones precisas, se tuvo que desechar la idea de los agujeros negros. ¿Qué otra alternativa había?

Las *enanas marrones* eran otra excelente posibilidad. Se trata de estrellas muertas cuya masa no es tan grande como para convertirse en un agujero negro, pero casi. Se han hecho pequeñas tras consumir su combustible de hidrógeno y, como consecuencia de su altísima gravedad, dejan escapar muy poca luz. De ahí que se apelliden marrones. Son agujeros negros frustrados.

Pero tampoco podía ser ésa la explicación. Uno a uno, fueron descartando a todos los sospechosos, hasta que, desconsoladamente, se quedaron sin ninguno. No había forma de saber qué era esa materia oscura.

En la actualidad, aunque las hipótesis son variadas, sigue sin tenerse nada claro. Ocupa buena parte del universo, pero no podemos decir nada concluyente al respecto.

Más oscuridad

Los sustos, sin embargo, no acaban aquí. El universo, con su alegre y generoso deseo de no dejar de sorprendernos, nos regala otro concepto todavía más inquietante: la *energía oscura*. Si entender lo que es la materia oscura ya resultaba complejo, tener

que asumir que, además de ella, existe la energía oscura provoca que uno tenga ganas de salir disparado hacia otro universo paralelo, confiando en que allí las leyes de la física sean ligeramente más sencillas.

Pero las cosas son así. La energía oscura representa aproximadamente un 70 por ciento de todo lo que existe en el universo y la materia oscura, un 20. El 10 por ciento restante, sólo una de cada diez partes de todo lo que existe, sería materia normal y corriente (si es que algo puede calificarse así en este lugar tan abrumador).

¿Qué hace exactamente la energía oscura? Según los científicos, sería la responsable de la expansión del universo. Tal vez ella es la causante de que el espacio-tiempo se esté haciendo cada vez más grande, separando las galaxias entre sí a un ritmo cada vez mayor. Una de las particularidades de esta enigmática energía es que puede actuar de modo inverso a la gravitación, consiguiendo, así, que las enormes masas del universo se separen unas de otras.

Claridad

Siempre me han entusiasmado esas películas antiguas en las que, después de mostrarnos una tormenta endiablada, empieza a lucir el sol mientras cantan los pájaros. Es como salir de una enfermedad. La sensación de paz resulta maravillosa y a uno le entran ganas de atravesar el cristal de la tele para entrar allí y tumbarse un rato sobre aquella hierba.

Voy a intentar que, tras la tormenta del capítulo anterior, tengas tú ahora también esa agradable sensación de sosiego.

Hace un momento te he explicado algo que puede chocar con la idea que te he ido transmitiendo de la ciencia. Hasta ahora, y a pesar de ciertas dificultades, los físicos han ido despejando incógnitas. Pero de repente te suelto que algo tan importante como que el 90 por ciento del cosmos está formado por una energía y una materia de la que muy poco podemos decir.

Eso puede provocarte un ligero bajón. A fin de cuentas, esperas que la ciencia arroje siempre luz, jamás oscuridad. Muchas personas, cuando oyen a los científicos afirmar que algo les es desconocido, suelen mostrarse tremendamente injustos con ellos. Incluso diría que se alegran un poco. Se trata de la paradójica reacción de orgullo que genera siempre el desconocimiento. Lanzan entonces frases como «es que la ciencia se cree que lo puede explicar todo y en realidad no sabe nada», y acto seguido muestran una sonrisa autosuficiente.

Es injusto, Ulises, porque esa oscuridad del desconocimiento es, a su modo, otra forma de luminosidad. Mucho más sutil que la que ofrecen las respuestas precisas, pero igualmente tranquilizadora.

Cuando de repente, en pleno siglo de descubrimientos asombrosos, la ciencia asegura que desconoce una gran parte de la realidad, está dándonos a todos una lección acerca del modo en el que deberíamos comportarnos. La actividad que el

método científico desarrolla tiene mucho que ver con eso. Nunca se muestra firme en sus aseveraciones. Siempre deja un margen a la duda, porque en el fondo ella es la duda misma provista de una herramienta.

Los físicos están dándole vueltas al asunto de la materia oscura. Las revistas científicas publican cientos de hipótesis al respecto, muchas de ellas con altas probabilidades de ser ciertas. No hace mucho saltó la noticia de que la materia oscura tal vez no exista. No es que la ciencia esté hecha un lío. Simplemente va tanteando el terreno. El problema radica en que está pasando ahora, lo estamos viendo, somos protagonistas de sus tribulaciones. Pero eso no resulta algo exclusivo de nuestra época; siempre ha sido así.

De momento, la energía oscura podría explicar la rápida expansión del universo, algo para lo que antes no había ninguna respuesta. Pero, aunque ni siquiera se hubiera atisbado esta posibilidad, la presencia de interrogantes gigantes, la declaración pública de un desconocimiento enorme, forma parte de la claridad de la ciencia.

Espero haber provocado en ti lo que deseaba y que en este instante te sientas como yo tantas veces, cuando en aquellas películas sale el sol después de la tormenta.

Y ahora, volvamos al inicio.

Cosas que pasaron al principio

Hasta el momento, sólo te he contado la versión clásica del Big Bang, esa que nos asegura que toda la materia y la energía que existe en el universo estaba concentrada en un punto ridículamente pequeño hace 13.700 millones de años. Pero desde que fue postulada esta excelente hipótesis, ha ido sufriendo algunos cambios.

Uno de ellos fue propuesto por el físico Alan Guth a principios de los años ochenta del siglo pasado. Comunicó a toda la comunidad científica algo que ahora forma parte del patrimonio de todos los físicos que estudian el Big Bang. Afirmó que, en los primeros instantes de la gran explosión, el espacio se expandió mucho más rápido de lo que se suponía. A esto se le conoce como *hipótesis del universo inflacionario,* y forma parte del modelo aceptado mayoritariamente por la ciencia. El mérito de Alan Guth fue que, con su propuesta, se lograban explicar algunas observaciones que parecían no encajar con los hechos. Por ejemplo, el universo que observamos en la actualidad parece muy homogéneo. Es casi igual lo mires por donde lo mires. Tanto si enfocas tu telescopio en una dirección o en otra, verás trozos de universo muy parecidos entre sí.


Alan Guth

Esa homogeneidad no era explicable en un universo que no fuera inflacionario. Sin embargo, la rapidísima expansión del espacio propuesta por Guth logró separar la materia primitiva antes de que ésta pudiera empezar a unirse para formar pequeños grumos. De ese modo, pudo ser distribuida por todo el universo con la magnífica uniformidad que ahora observamos.

Otro de los cambios importantes introducidos en el Big Bang desde que fue propuesto tiene que ver con la vieja idea de la creación desde la nada. Lucrecio, el célebre poeta romano del que ya te hablé, no se cansaba de asegurar a todas horas que es radicalmente imposible que algo surja de la nada, pero eso a los físicos parecía no importarles demasiado. Si querían dar una descripción precisa del origen del cosmos, se veían obligados a abordar el asunto de la aparición de *todo* a partir de la *nada*.

La primera pista para aproximarse al asunto estaba escondida en las famosas leyes de conservación de la materia y de la energía. Las aprendí de pequeño sin saber qué diablos significaban realmente: la materia ni se crea ni se destruye, sólo se transforma, y lo mismo sucede con la energía. Einstein unificó ambas leyes en una sola: *la ley de conservación de la materia-energía*.

Pues bien, si la materia-energía no puede crearse ni destruirse, ¿cómo narices pudo haber sido creada hace 13.700 millones de años? ¿Cómo es posible que el universo violara la ley de conservación nada más empezar? No era un modo muy ejemplar de iniciar una andadura, ciertamente.

Entonces, los científicos comenzaron a hablar de *energía negativa*. Si sumamos una cantidad de energía positiva a la misma cantidad de energía negativa, el resultado es cero. Pensaron, por tanto, que si al principio de todo, en el momento del Big Bang, había tanta energía positiva como negativa el asunto quedaba maravillosamente bien resuelto.

Pero ¿qué rábanos podría ser esa energía negativa? Para hacernos una idea de lo que nos quieren decir los físicos, imagínate que alguien quisiera arrancar la Luna de su órbita para colocarla a cientos de miles de años luz de distancia, en una zona en la que no hubiera prácticamente ninguna gravedad.

En ese lugar, la Luna no tendría energía potencial. Recordarás que te hablé de esa curiosa energía. Es la que tienen los cuerpos cerca de los campos gravitatorios. Una manzana puesta a treinta metros de altura tiene energía potencial porque, si la dejamos caer, chocaría contra el suelo y provocaría un cierto desastre. Y para generar cualquier desastre se requiere energía. Sin embargo, esa misma manzana, colocada en una zona del espacio sin gravedad, no tendría ninguna energía potencial, puesto que no podría caer a ningún sitio. *Potencialmente*, no podría causar destrozos cayendo a ninguna parte.

Vuelve a imaginar la Luna. Hemos logrado arrancarla de su órbita (donde tenía energía potencial por hallarse en las cercanías del campo gravitatorio terrestre) y la hemos situado en una zona remota, sin campos gravitatorios y, por consiguiente, sin energía potencial. Para hacer el tremendo esfuerzo de sacarla de su órbita y llevarla hasta el ingrávido lugar, hemos tenido que emplear mucha energía. Uno no arranca una Luna con facilidad. Por tanto, si después de transmitirle energía a la Luna con nuestro esfuerzo, si después de *añadírsela*, acaba teniendo *cero*, significa que antes su energía era negativa. Para que una suma nos dé *cero*, uno de sus miembros ha de ser negativo.

La existencia de la energía negativa podría explicar que la creación del universo no supuso ninguna violación de las leyes de conservación, pero, si quieres que te sea sincero, yo sigo sin entender, al igual que Lucrecio, cómo rábanos algo puede salir de la nada.

Las hipótesis que se generan teniendo esta idea como base son variadas. Algunos científicos han llegado a afirmar que para crear nuestro universo sólo se necesitarían unos quinientos gramos de materia, el equivalente a tres o cuatro bocadillos. Sí, comprendo que pueda resultar gracioso, pero nadie nos ha dicho que la realidad del universo tenga que ser necesariamente solemne desde el principio. Sólo unos gramos y ya tenemos un cosmos para disfrutar de él. El resto de la masa surgiría gracias a la fórmula de Einstein: sería la energía la que acabaría convirtiéndose en toda la materia que ahora nos envuelve.

Sea como fuere, la narración de los hechos por parte de la ciencia comienza unas fracciones de segundo después de la gran explosión. Antes todo el mundo se hace un lío tremendo. Pero, desde ese momento, y aplicando las leyes de la física que ahora se conocen, resulta posible hacer una descripción consistente a partir de todo lo que observamos. La materia, al expandirse el universo, se fue enfriando. Las fuerzas gravitatorias empezaron a hacer de las suyas y grandes cantidades de masa fueron acercándose unas a otras. El tiempo pasó y esos agrupamientos masivos formaron las galaxias. Los soles surgieron gracias a la acumulación de sencillísimos átomos de hidrógeno que se unían como consecuencia de la misma fuerza de atracción que hace que se caigan los libros de las estanterías. El hidrógeno se convirtió en helio y, con el tiempo, en elementos más complejos. Algunos de esos soles giraban, y al hacerlo

desprendieron materia a su alrededor, de la cual se formaron los planetas con sus lunas. En uno de esos planetas, las leyes físicas se combinaron para formar moléculas bastante interesantes que acabarían convirtiéndose en las piezas básicas de la vida. Y así, hasta llegar a ti, a mí y a personas tan asombrosamente extrañas como los *disc jockeys*.

Hablemos con Lucrecio

Aunque creamos que lo hemos hecho, en realidad nos ha sido imposible convencer a Lucrecio. La suma de la energía positiva y la energía negativa puede parecer una solución aceptable al enigma de la creación desde la nada, pero si se analiza con detenimiento resulta obvio que no hemos hecho más que empezar. Aún continuaría en pie nuestro tremendo gran porqué.

La «nada» de la que hablan los físicos es muy distinta a esa otra de la que nos hablaba Lucrecio. Para que te hagas una idea, será bueno que asistamos a una conversación imaginaria entre un físico teórico y el célebre poeta romano.

LUCRECIO: He oído que ustedes afirman que algo puede nacer de la nada.
FÍSICO: Bueno, en realidad no es exactamente así.
LUCRECIO: ¿Entonces?
FÍSICO: Nuestro concepto de la nada es algo diferente al suyo.
LUCRECIO: ¿Cuál creen que es mi concepto?
FÍSICO: Bueno, ya sabe, el de la ausencia de todo.
LUCRECIO: ¿Es que puede haber otra definición distinta?
FÍSICO: De alguna manera, sí. Creo que sí.
LUCRECIO: Le escucho.
FÍSICO: Para que me entendiera usted, debería ponerse al día de muchas cosas, pero, para resumirlas, le diré que existe algo que nosotros llamamos *vacío cuántico*.
LUCRECIO: ¿Vacío cuántico? Ponerle un apellido al vacío es llenarlo de algo. El vacío total no puede tener apellidos. Vacío cuántico ya es algo. Es *cuántico*, signifique eso lo que signifique.
FÍSICO: Por eso le decía que nuestra idea del vacío es distinta a la suya.
LUCRECIO: He notado que usted, muy inteligentemente, ha desviado el asunto. Hemos empezado hablando de la *nada* y ahora estamos haciéndolo del *vacío*. Me gustaría que volviéramos a encauzar la conversación. Yo le digo que no es posible crear algo de la nada.
FÍSICO: Y yo que es posible crear algo desde el vacío.
LUCRECIO: Éste no es modo de mantener una charla. Si usted decide aquello de lo que hablamos, entonces prefiero regresar a mi siglo, donde las personas son igual de ridículas que aquí, pero al menos las conozco.

FÍSICO: No me interprete mal. En el fondo, y aunque no lo parezca, pretendo ser humilde. Cuando desvío la conversación de la «nada» al «vacío» es porque, honestamente, no tengo ni la más remota idea de lo que pueda ser la «nada». Comparto con usted la estupefacción de que algo pudiera surgir de esa nada, pero al menos —y no me negará que eso es mucho— tenemos pruebas de que aparecen partículas en el vacío.

LUCRECIO: ¿Qué quiere decir?

FÍSICO: Es un hecho comprobado que en el vacío, continuamente se...

LUCRECIO: Disculpe que le interrumpa. Por vacío entiende usted aquello que separa las cosas, ¿no?

FÍSICO: Sí, es una definición que sigue vigente desde su siglo.

Antes de continuar escuchando al físico y al poeta, sería bueno que yo interrumpiera un momento. Lo que dice nuestro físico, aunque te haya sorprendido, es otra de las consecuencias de la mecánica cuántica. En efecto, se ha confirmado que en el «vacío» (que, como ha quedado claro, no hay que confundir con la «nada») aparecen y desaparecen continuamente partículas diminutas. La materia se crea en lo que técnicamente se llama *espuma cuántica*.

El otro día estuve de viaje en Galicia, trabajando para un documental de la gran poeta Rosalía de Castro. Mientras paseaba por el río Mundo empezó a llover. Las gotas de lluvia golpeaban la superficie del río, creando ondas que aparecían y desaparecían. Aquello me hizo pensar en la espuma cuántica y decidí fotografiarlo para incluirlo en este libro. Mira, ésta es la foto que tomé para ti en la ribera del río Mundo.



Esto sería, más o menos, lo que podríamos ver si tuviéramos una vista fenomenal para apreciar la realidad a un nivel mareantemente diminuto. Partículas (que como sabes también son ondas) apareciendo y desapareciendo en un mar hecho no de agua, sino de «vacío cuántico».

Y ahora sigamos escuchando a Lucrecio y a nuestro físico, porque están a punto de terminar la conversación.

FÍSICO: Le decía antes de la inoportuna interrupción que se ha confirmado la creación de materia en el vacío. Materia que antes no estaba, ahora está.

LUCRECIO: Debe de haber ciertas leyes para que eso ocurra, imagino.

FÍSICO: Sí, claro, las leyes de la mecánica cuántica.

LUCRECIO: No sé lo que es la mecánica cuántica, pero intuyo que debe de ser una nueva física. Da igual, lo acepto. Pero acépteme usted a mí una cosa. La materia puede salir del vacío, pero ¿de dónde surgen las leyes de la mecánica cuántica? ¿De otro vacío cuántico? Vamos, hombre. Que no, que usted no me va a convencer. Nada puede ser creado de la nada. Adiós, buenos días.

Lucrecio ha dado en el clavo. El problema de la creación desde la nada no tiene nada que ver con la aparición de partículas en el vacío cuántico, sino con la creación de las leyes naturales que deberán de ser después obedecidas por esas mismas partículas. Y eso es un rematado misterio.

Como ves, son muchas las hipótesis que la ciencia baraja para tratar de entender la creación de este cosmos gigante. Se supone que, al principio, en el momento del Big Bang, pudo producirse una creación de materia como las que han sido confirmadas en la enigmática espuma cuántica. Las leyes de la moderna física lo permiten. Y aquí es donde la enorme pregunta de Lucrecio es del todo pertinente: ¿cómo pudieron surgir *de la nada* las leyes que posibilitan la creación de un universo *desde la nada*?

En este punto exacto es cuando resulta más fácil deslizarse hasta lugares demasiado problemáticos. Estamos a diez segundos de hablar de Dios, ¿te has dado cuenta, verdad? Muchos piensan que ése sería el único modo de explicar las cosas. Otros les replican argumentando que eso supondría una complicación añadida. Argumentan que, si ya es difícil entender el universo, tener que entenderlo a él y además a Dios supondría multiplicar por dos el esfuerzo. Dar razón de una pareja de misterios es el doble de costoso que tener que hacer lo propio con uno solo.

Personalmente, sobre este asunto, tengo pensamientos demasiado amplios, difusos y cambiantes como para plasmarlos aquí. Mejor que lo hablemos en persona cuando quieras.

Por tanto, dejemos de hablar de Dios y preguntémonos: ¿puede la ciencia ofrecernos una explicación razonable a todo esto, o hemos de reconocer, por mucho que nos pese, que jamás llegaremos a saber qué diablos significa este monumental embrollo?

A pesar de mi patente amor a la ciencia, suelo decantarme casi siempre por lo segundo. Pero ¿sabes qué, Ulises? A veces —y no se lo digas a nadie— cambio radicalmente de opinión respecto a todo. Incluso en ocasiones, en momentos de

absurda ingenuidad, tengo el presentimiento de que algún día acabaremos comprendiendo las cosas.

Te hablaré de ello un poco después, pero para concluir este apartado sería bueno que diferenciemos entre la creación *de este universo* y la creación de *todo lo existente*. Como ya has visto, la posibilidad de que podamos encontrarnos habitando en una simple burbuja que flota en un mar de múltiples universos es algo que se baraja con absoluto rigor científico. Hablar de la creación del universo empieza a resultar ya muy poco preciso. Algunos científicos proponen, creo que con mucho acierto, que al multiverso lo llamemos *cosmos* y nos quedemos con la palabra *universo* sólo para su uso local. En lo relativo al origen del universo, de la burbujita en la que vivimos tú y yo, la ciencia tiene todavía muchas cosas que decirnos, y lo cierto es que sus aportaciones para explicar su nacimiento están resultando tremendamente eficaces. En este último sentido, y tal vez sólo en éste, podemos tener una razonable esperanza en que las dudas, poco a poco, sean despejadas.

El final de los finales

Créeme si te digo que era necesaria toda la especulación filosófica del capítulo anterior, aunque sólo sea para quitárnosla de encima cuanto antes. Uno no puede escribir un libro sobre el inquietante cosmos sin formularse preguntas más o menos trascendentes. Pero ahora volvamos a la física y abandonemos la metafísica.

¿Cómo acabará todo esto? Si, como afirman los científicos, el universo empezó hace unos 13.700 millones de años, ¿tendrá también un final?

La idea del fin del universo es tan inquietante como la de su principio, porque en ambos casos nos enfrentamos al concepto de la nada, idea tremendamente extraña para la que nuestros cerebros no están en modo alguno preparados.

Sin embargo, hay una solución con la que podríamos desviar la cuestión y no tener que enfrentarnos a la angustiosa nada. Si aceptamos —aunque sea de momento — la idea del multiverso, podemos afirmar sin miedo a volvernos demasiado locos que el final de *este* universo no implica el final de todos los demás. Tal vez no sea algo tranquilizador a nivel sentimental, pero sin duda lo es desde un punto de vista lógico.

Hay muchas hipótesis acerca de este asunto. Algunas tienen que ver con las características del espacio y su capacidad o no para expandirse indefinidamente. Otras hacen referencia a la cantidad de materia que existe en realidad en el universo. Mucha de ella podría ocasionar que la expansión diera marcha atrás y el universo entero empezara a contraerse, al ser la fuerza de la gravedad de toda esa masa acumulada mucho mayor que la energía que emplea el cosmos para expandirse.

Pero al margen de todas estas suposiciones, hay algo cuya validez no cuestiona ningún científico. Es un principio con un nombre precioso, aunque aquello que se desprende de él resulta, sencillamente, aterrador.

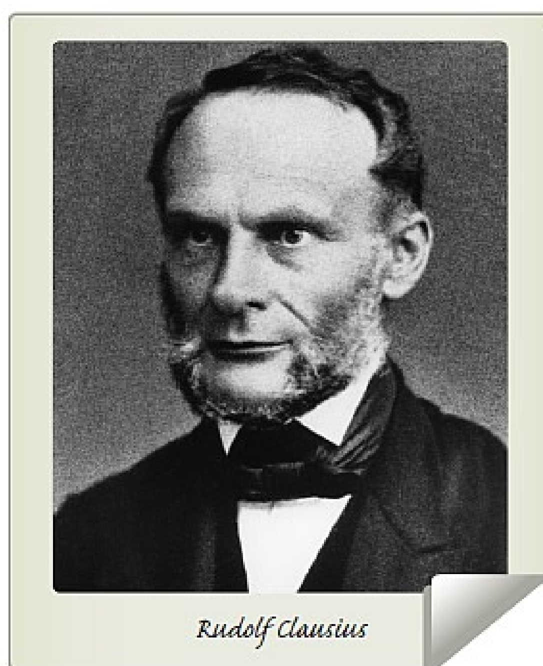
El segundo principio de la termodinámica

No me digas que no es un nombre magnífico. Si yo tuviera que pasar a la historia por haber dado a conocer algo al mundo, sería este principio el que elegiría, aunque sólo fuera por lo bien que suena.

Resulta muy fácil de entender, y la conclusión a la que llegaremos gracias a él es tan obvia como estremecedora. Espero que el placer de haberla entendido te compense el susto que te generará averiguar cuáles son sus antipáticas consecuencias.

Rudolf Clausius habría sido galardonado con un Nobel de la Paz si estos premios hubieran estado instaurados cuando él danzaba alegremente por el mundo. Durante una guerra, mostró ser un tipo fuera de serie organizando una flota de ambulancias para curar a los heridos. Y, por supuesto, también le habrían dado el Nobel de Física.

Rudolf era un hombre extraordinario en todos los sentidos. Además de investigador, fue un excelente profesor, bastante querido por sus alumnos. Su principal objeto de estudio fue el calor.


Rudolf Clausius

En todos los libros en los que se trata de introducir al lector en la física, el calor es uno de los primeros puntos que se abordan. Pensarás que estoy loco por hacerlo ya casi al final, pero creo que tengo motivos para ello. Para entender mejor por qué algo está caliente, antes es necesario saber qué diablos son los átomos y cómo se comportan. En seguida sabrás por qué te lo digo.

Si estás ahora en tu habitación, mira atentamente el radiador de la calefacción. Si estás en cualquier otra parte, te ruego que te lo imagines. ¿Qué diferencia hay entre ese aparato cuando está caliente y cuando está frío? La respuesta obvia es que en un estado da calor y en el otro, no, pero eso no es lo que yo quería escuchar. Me refiero a las diferencias en el material del que está hecho.

En apariencia no cambia. Cuando el radiador está caliente muestra el mismo aspecto externo que cuando está frío. Si te enseño una fotografía de un radiador, jamás podrás averiguar en qué situación se encuentra.

Nada en la imagen siguiente puede darte una pista acerca de si está encendido o apagado. No cambia la forma cuando emite calorcito para recuperarla inmediatamente cuando deja de hacerlo. A nivel visual, no hay ninguna diferencia en absoluto.



Entonces, ¿por qué quema unas veces y otras no? Algo debe de ser distinto en ese material. Piénsalo con detenimiento. Si fuera *exactamente* igual, no variaría su temperatura. Algo en él debe de haber cambiado, pero ¿qué?

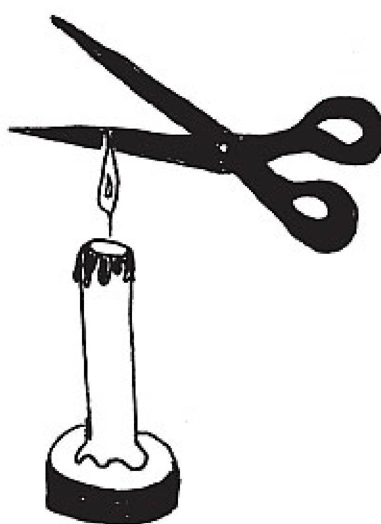
Durante muchísimo tiempo se especuló acerca de qué rábanos pasaba en los objetos calientes. Las teorías eran muchísimas y los científicos no se terminaban de poner de acuerdo. Podría no decírtelo y obligarte a que investigaras, pero por fortuna para ti hoy me siento generoso y te voy a aliviar de esa inmensa tarea.

La diferencia entre un cuerpo caliente y otro frío radica en sus átomos. En un objeto caliente, éstos se mueven con más rapidez que en uno frío. No importa el objeto. Los átomos de los que está hecha tu mano se mueven más velozmente cuando un rayo de sol la calienta. Si en un día de playa tienes una mano al sol y otra debajo de la sombrilla, los átomos de la mano que está a la sombra se mueven más despacio que los que absorben la luz solar.

Eso es todo. Resulta tan simple que parece casi una revelación. El calor no es otra cosa que movimiento. Se trata, como ves, de una idea que ejemplifica a la perfección el tipo de unidad que ansían encontrar siempre los científicos. Antes de saber esto, por

un lado existía el calor y por otro, el movimiento. Gracias a haber averiguado la verdadera naturaleza del calor, todo se unifica de un modo asombroso.

Cuando con una vela calientas unas tijeras, los átomos de la zona metálica que recibe la llama empiezan a moverse rápidamente. Acabo de darme cuenta, Ulises, de que este ejemplo demuestra que tal vez no esté del todo bien de la cabeza. ¡Unas tijeras abrasadas por una vela! Sólo Dios sabe por qué se me habrá ocurrido algo así, pero como ejemplo es perfectamente válido.



Ahora resulta fácil entender por qué con una simple fotografía no podremos jamás averiguar si un radiador está parado o en marcha. La resolución de la imagen, por buena que sea la cámara, nunca podrá ser lo suficientemente alta como para apreciar el movimiento de la materia, pero, si miráramos con un potentísimo microscopio, veríamos que el radiador encendido muestra en la superficie de su material movimientos rapidísimos.

¿Y qué tiene todo esto que ver con el final del universo, preguntarás con toda la razón del mundo? En seguida lo entenderás, sobre todo si piensas en cómo se transmite el calor de un cuerpo a otro.

El radiador de tu habitación consigue cumplir su objetivo de una manera eficaz porque su superficie (compuesta por átomos y moléculas que se mueven) comunica este movimiento al aire de su alrededor, llenando la habitación de calor.

En la fotografía del radiador tampoco podemos averiguar la temperatura a la que está la habitación, porque nos resulta imposible divisar los movimientos de las moléculas de aire. Pero lo cierto es que, con el aparato encendido, el aire se calienta y, por tanto, también las partículas de las que está hecho. Al aumentar su temperatura, las partículas del aire se mueven un poquito más rápido de lo que lo hacían cuando tu cuarto estaba a menos temperatura.

Ahora suprimamos el radiador y cambiémoslo por un bloque de hielo. Iba a mostrártelo también mediante una fotografía, pero creo que ya he abusado mucho de los elementos gráficos, así que tendremos que conformarnos con la imaginación.

Es evidente que ese inmenso cubito de hielo conseguirá que la habitación se enfríe un poquito. Si ahora te pregunto cómo transmite el hielo el frío a toda la habitación, quizá estés tentado de decir que lo hace de un modo similar al radiador, pero con frío en vez de con calor. Pero no es así, porque en realidad *el frío no se transmite*.

Recuerda: el calor es movimiento, y la transmisión del calor es transmisión de movimiento. Por tanto, en el ejemplo del bloque de hielo que consigue enfriar tu habitación, la transmisión ha de ser necesariamente en sentido inverso. No es que el hielo enfríe la habitación. Lo que ocurre es que *la habitación calienta el hielo*. El movimiento de las partículas de aire caliente hace que se muevan las diminutas moléculas de agua helada, aumentando su temperatura y causando que el bloque de hielo se deshaga poco a poco. Y eso nos da la primera clave para entender el final del universo.

Dejemos de lado tu habitación y pensemos en la totalidad del cosmos. En él hay objetos más calientes que otros. Es evidente que el Sol tiene una temperatura más elevada que la Tierra, y la Tierra una más alta que los remotos anillos de Saturno. Si damos por hecho que la temperatura pasa siempre de los cuerpos calientes a los fríos, es evidente que al final el universo terminará con una temperatura homogénea. Hará el mismo calor —o el mismo frío— en todas partes.

Dicho de otro modo, los objetos con altas temperaturas irán pasando su calor a los que están más fríos, igual que el radiador calentaba el aire de tu cuarto. Si dejamos que ese proceso continúe durante muchísimo tiempo, la temperatura final será, por tanto, la misma en todas partes. Y ése será el final de todo.

¿Por qué, te preguntarás? ¿Qué puede tener que ver que la temperatura sea la misma en todo el universo con el final del mismo? Después de todo, eso parecería algo positivo, sobre todo si la temperatura es agradable. Pero en seguida verás que no.

Para que ocurran cosas, para que se produzcan fenómenos, han de existir diferencias de energía. Esto puede parecer complicado, pero creo que podrás entenderlo con facilidad si vuelves a considerar el calor como movimiento de partículas diminutas. Dentro de muchos millones de años, cuando la temperatura sea la misma en todos los lugares, nada nuevo podrá pasar en el universo, porque será imposible la transmisión de energía. ¿Cómo va a haber transmisión energética si ya está toda distribuida? Y sin transmisión de energía, nada puede existir, ni vida, ni ningún otro proceso complicado.

Rudolf, que al ser buen científico explicaba las cosas con muchísima más precisión que yo, llamó a este fenómeno *aumento de la entropía*. Este concepto, la entropía, hace referencia al desorden. Un universo homogéneo es un universo totalmente desordenado. Otro, como el nuestro en la actualidad, donde existen diferencias claras de temperatura entre distintos objetos, tiene un nivel de entropía mucho menor.

Clausius hizo de esto un principio fundamental de la naturaleza, ése cuyo nombre tanto me fascina: el segundo principio (o segunda ley) de la termodinámica, que establece que el aumento de la entropía es inevitable en todo sistema cerrado. Y el

universo, que se sepa, es un sistema completamente cerrado (aún no se ha demostrado la existencia de puertas a otros universos).

Rudolf Clausius tal vez no fue consciente del tremendo disgusto que provoca su ley en las personas que tenemos cierta tendencia a sentir mareo por los finales. En cualquier caso, su segundo principio continúa perfectamente intacto, y todo parece prever que, como consecuencia de esa ley, el universo entero se irá al garete por lo que los físicos llaman, de un modo algo sensacionalista, *muerte térmica*.

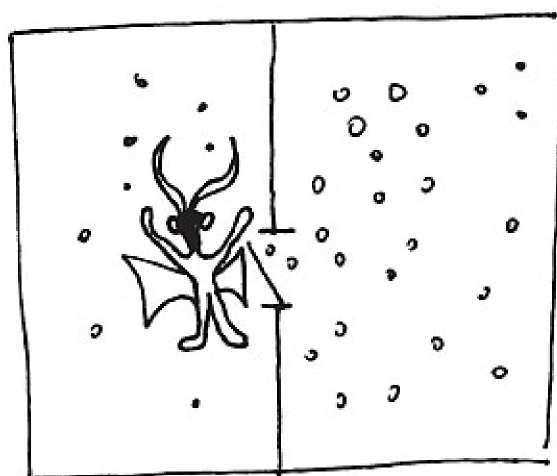
Esta idea ha descorazonado a muchas personas, como no resulta difícil de entender. Alguien a quien le preocupó muchísimo es a nuestro querido amigo James Clerk Maxwell, el hombre que fusionó la electricidad con el magnetismo.

A Maxwell, en un momento de desesperación, le dio por negar que todo tuviera que ser tan desconsoladoramente triste y decidió inventar algo muy gracioso.

El pequeño demonio de James

Maxwell se imaginó una caja llena de gas con una temperatura homogénea. Por tanto, la entropía allí estaría en el máximo nivel. Ya no habría diferencia de temperaturas y eso imposibilitaría la realización de cualquier trabajo. Representaría, a pequeña escala, nuestro futuro universo muerto.

Dividió mentalmente la caja en dos partes, colocando una pared en el centro. Y en esa pared puso una puerta pequeña. Y ahora viene lo más simpático, porque imaginó que dentro de esa caja había un demonio muy pequeñito.



Este ser imaginario era muy bondadoso, y su misión era nada menos que la de resucitar el universo o, cuanto menos, la representación en miniatura en la que él vivía. Para ello, observaba con atención las moléculas del gas. A pesar de que la temperatura es la misma en toda la caja, existen pequeñas variaciones de velocidad en esas moléculas. No todas van igual de rápido. El resucitador de universos está situado justo al lado de la puertecita que divide la caja en dos. Cada vez que ve una molécula

rápida, abre la puerta y la deja pasar al otro extremo, pero a las moléculas que van más despacio les impide el paso. Al cabo de cierto tiempo, suponía Maxwell, uno de los lados estaría lleno de moléculas de gas que se moverían rápidamente, mientras que el otro lado lo ocuparían moléculas lentas. De esta manera ingeniosa, el diablillo había conseguido reiniciar el universo, violando el segundo principio de la termodinámica. La zona de la caja con partículas rápidas estaría más caliente que la otra. De nuevo, la capacidad del microcosmos para generar trabajo había sido reinstaurada.

Muchos científicos se quedaron eclipsados ante el sencillo juego mental de Maxwell. Parecía haberse encontrado una posible excepción a esa ley que terminaría matando el universo entero. Pero, por desgracia, hay un fallo tremendo. El pequeño demonio inventado también forma parte del sistema. Él, como todo lo demás, está formado a su vez por moléculas sometidas a la implacable segunda ley de la termodinámica. Su pequeño cuerpecito no estaría exento de transmitir su calor al resto de la caja.

El experimento mental, aunque bienintencionado, no puede cumplir su objetivo de animarnos.

Sin embargo, hay una posibilidad de que todo esto no se vaya a pique por culpa del aumento de entropía, pero te aseguro que la alternativa es infinitamente peor. El universo, antes de que la entropía haya aumentado a su máximo nivel, podría dejar de existir como consecuencia de una tremenda contracción. Si la cantidad de masa es elevada, la atracción gravitatoria superaría la fuerza de la expansión cósmica y todo se volvería de nuevo terriblemente pequeñito. También se apunta la posibilidad contraria. En el supuesto de que la cantidad de masa en el universo fuera menor de lo esperado, la expansión del espacio, al no tener que luchar tanto con la gravedad, podría provocar que el mismo espacio-tiempo terminara rompiéndose, algo que, te confieso, me resulta rotundamente imposible comprender a estas horas de la mañana.

Sea como fuere, lo cierto es que esto tiene toda la pinta de terminar en algún momento. Pero, como siempre, la esperanza consigue marcarse un tanto. Antes de que eso ocurra, quizá encontremos una salida a otro universo paralelo al nuestro, uno que tal vez ahora mismo ni siquiera haya nacido.

¿Qué significa «todo»?

Desde siempre, el universo ha sido concebido como aquello que lo contiene todo. La totalidad de lo que hay, de lo que hubo y de lo que habrá. En esa antigua concepción, cualquier cosa imaginable formaba parte del universo. Pero ahora las cosas han cambiado.

Al hablarte de lo curiosa que es la existencia de determinadas constantes de la naturaleza, has visto cómo algunos científicos han llegado a la conclusión de que, quizá, existan otros universos, cada uno de ellos con unas leyes y variables radicalmente distintas. Esa idea ayudaba a responder a la pregunta: «¿Por qué éstas

están *aquí*?» Simplemente, «porque otras están *allí*». Eso, como es obvio, hace que cambiemos de inmediato nuestra idea de lo que significa la totalidad. El universo, como te conté, debería llamarse ahora *este universo*. Por tanto, cuando hablamos de «todo», ¿a qué nos estamos refiriendo? ¿Acaso a lo que hay en *este universo* o a la suma de lo que podríamos encontrar en la totalidad de los que puedan existir?

La realidad se hace de repente más amplia si aceptamos esta pluralidad, pero no hay razón para que todo no sea más que un cambio de escala. Sencillamente podemos pensar en este universo como en un trozo del multiverso, una región en la que operan determinadas leyes.

Muchos científicos opinan que la probabilidad de que esto sea así es muy grande. Afirman incluso que no es descartable que se generen universos de forma constante, y que todos ellos estén separados de nosotros por distancias que podrían ser ridículamente minúsculas. No los veríamos, simplemente, porque se encontrarían en otra dimensión física que no podemos señalar.

Aunque entiendo que el tema del multiverso puede resultar fascinante y atractivo, en cuanto me enteré de él por primera vez me invadió una duda terriblemente incómoda. Por un momento hasta me puse algo triste. Voy a intentar explicarte por qué.

Verás: el sueño de los científicos es universalizar leyes, y lo es desde que Newton demostró que el motivo por el que las piedras caen es exactamente el mismo por el que la estupenda Luna gira suavemente en su órbita alrededor de la Tierra. Cuando ahora se especula sobre la posibilidad de la existencia de *otros* universos en los que regirían *otras* leyes, el sueño científico parece relativizarse un poco. Es como si la generalización sólo pudiera aplicarse a un universo, pero nunca a todos los demás.

¿Se ha desmoronado el sueño de la generalización, la certeza de que universalizar es posible? ¿O, tal vez, podamos hallar unas supraleyes que sean obedecidas en todos los universos al mismo tiempo, algo asombrosamente común a todos ellos? Del mismo modo que existe una ley de la gravitación universal, ¿podríamos postular, para los multiversos, leyes multiuniversales?

No lo sé, y en realidad nadie podrá darte una respuesta satisfactoria. A primera vista, la idea de leyes suprauniversales parece contradecir el concepto mismo de universo, pero algo me dice que *El viejo*, como Einstein llamaba al gigantesco cosmos, sea como fuere y aunque tenga el número de universos que le venga en gana, ha de mostrar cierta homogeneidad. La idea de unidad, tan antigua como la ciencia, probablemente siga en pie para siempre.

¿Quién eres tú?

Casi siempre damos por supuesto que el universo es algo distinto de nosotros. Cuando nos referimos a él, lo hacemos siempre en tercera persona, como, si de alguna extraña manera, fuera algo ajeno, una especie de gigante que se encuentra fuera y al que

podemos espiar para comprenderlo. Los telescopios serían algo así como la mirilla desde la que observamos su comportamiento, para después anotarlo en cuadernos, extraer conclusiones y elaborar teorías más o menos complicadas. Pero en realidad esta visión es radicalmente errónea.

Piensa, por ejemplo, en la Luna, el objeto que nos sirvió para empezar nuestro recorrido. Nadie en su sano juicio afirmaría que esa enorme roca no tiene nada que ver con el cosmos. Damos por sentado que ella es un trozo minúsculo de él. Sin embargo, cuando se trata de nosotros mismos, tendemos a suponer que estamos al margen.

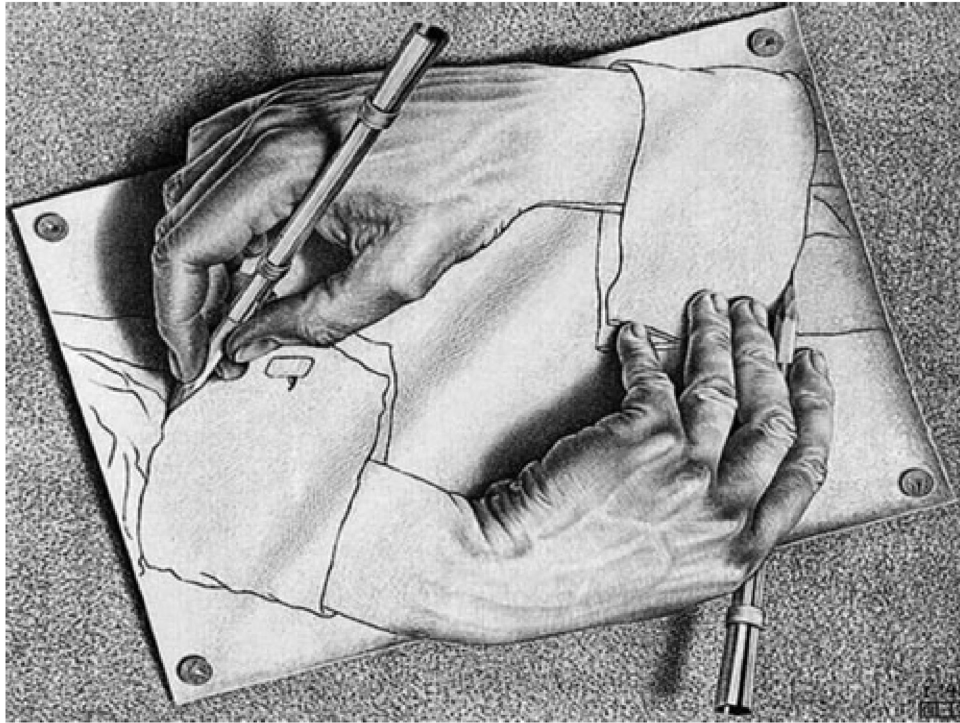
Cuando te hablé del Sol, te conté que tu cuerpo está formado por una cantidad mareantemente enorme de átomos que se formaron hace millones de años en el interior de estrellas lejanas. Por tanto, tenemos el mismo derecho a ser un trozo de universo que cualquiera de los muchos objetos que lo integran, pero nos cuesta mucho convencernos de ello. Tenemos muy instalada la idea de que *observador* y *observado* no tienen en absoluto nada que ver.

Pero el universo no es distinto de nosotros. Hablaba de ello cuando te di a conocer uno de los tremendos problemas a los que nos enfrentamos cuando decidimos darle un tremendo «sí» a la ciencia: el de compaginar la existencia de las leyes físicas con la capacidad humana para tomar decisiones libremente. Ahora, sin embargo, utilizaré esa misma idea de unidad para plantearte otro interrogante, tal vez incluso mayor que el anterior.

El asunto tiene que ver con lo que algunos filósofos y científicos llaman *el problema duro de la conciencia*. Su nombre ya nos da una idea de lo extraordinariamente complicado que resulta abordar la cuestión. Nadie atina a dar una respuesta satisfactoria. Como tantas otras cosas, ésta es tremendamente difícil, pero con un añadido algo más misterioso: ni siquiera sabemos qué tipo de asunto estamos tratando de resolver. Voy a intentar explicártelo, pero te adelanto que, si te cuesta entenderlo, no has de acomplejarte lo más mínimo.

Todo tiene que ver con nuestra capacidad para saber que estamos aquí. Piensa en una piedra, por ejemplo. Aunque definirla es algo muy complejo (sobre todo después de habernos paseado por las extrañezas cuánticas), al menos podemos decir que, en cierto modo, ella está. Puede tratarse de un cúmulo borroso de ondas-partículas, o de quarks, o de cuerdas danzarinas, o de lo que demonios se les ocurra a los físicos en las siguientes décadas, pero la piedra está. Sin embargo, nosotros, además de parecernos en eso a la piedra (como ella, también *estamos*), tenemos una característica suplementaria: *sabemos que estamos,* tenemos conciencia de nosotros mismos.

¿Cómo es eso posible? Si, como resulta obvio, somos un pedazo de universo, ¿cómo diablos se las arregla ese simple fragmento para saber que es un simple fragmento? Es como si el universo, después de miles de millones de años, de repente hubiera adquirido conciencia de lo que es. El universo observándose a sí mismo. Visto así, la ciencia no sería otra cosa que un autocomplaciente mirarse el ombligo.



Manos dibujando, de M. C. Escher. Mano que pinta manos o universo que mira universo. Eso eres tú.

Tú, ahora mismo, mientras lees esto, no eres simplemente una persona aprendiendo cosas acerca del cosmos. Eres el propio cosmos aprendiendo de sí mismo. La investigación científica, bien mirado, es autoinvestigación. Todo lo que has ido aprendiendo en estas páginas, en un sentido muy profundo, te ha servido para conocerte un poco más a ti mismo.

¿Cómo puede surgir la conciencia si no somos más que un enmarañado montón de átomos moviéndose alocadamente? ¿De qué modo la materia ha logrado saber que es materia?

Los pensadores de todas las áreas, cuando intentan encontrar una explicación al enigma de la conciencia, la llaman *cualidad emergente*. Siempre he pensado que, al darles este nombre, todos ellos se sentían algo más relajados. Nombrar algo nos da la sensación remota de haberlo comprendido. El lenguaje lanza sus redes y atrapa la conciencia en una definición más o menos precisa, pero ¿qué significa realmente que algo es una «cualidad emergente»?

Con esas dos palabras se quiere significar que los componentes de los que estamos hechos (protones, neutrones, electrones y todo lo demás), por sí mismos, no tienen la cualidad de la conciencia, pero que, al juntarse alegremente para formar un ser humano, entonces ya la tienen, puesto que emerge.

Bien, sí, pero esto ya lo sabíamos. El misterio sigue en pie, y lo único que hemos hecho es abreviar en dos palabras la formulación del problema que intentábamos resolver. Es un bonito trabajo de síntesis que agradecemos mucho a todos los pensadores que han llegado a esa espectacular conclusión, pero resulta que ya sabíamos que la conciencia era una cualidad y que esta cualidad «emergía». Lo que queremos comprender es por qué narices lo hace.

Ulises, nadie lo sabe, y ni siquiera podemos intuir por dónde irá la respuesta, si es que algún día logramos dar con ella. El problema es que, mientras tanto, el enigma de la conciencia está siendo abordado por pesadísimos amantes de lo paranormal. Son unos tipos curiosos. Cuando algo tiene explicación, actúan como si no la tuviera, señalando misterios donde no los hay. Con este asunto, donde realmente no hay explicación, imagínate lo contentos que deben de estar. Tienen vía libre para todo.

Yo no sé cuál puede ser la explicación a este intrincado asunto. La capacidad de la materia para ser consciente de sí misma me ha generado siempre tremendos quebraderos de cabeza. Simplemente, no puedo entenderlo. Cierro los ojos, me esfuerzo, pongo la mente en blanco, me relajo, hago todo lo que buenamente se me ocurre para afilar la razón (si es que ésta puede ser afilada), y lo único que consigo es ver el misterio todavía mayor. O quedarme dormido.

¿Qué hacer, entonces? ¿Damos por supuesto que es un enigma irresoluble, o intentamos darle una respuesta, cueste lo que cueste? Tal vez, con este tema, deberíamos sólo disfrutarlo. Saborear el misterio, dejarse empapar por él, también es una actividad gratificante. La sensación que genera enfrentarse a algo que supera nuestra capacidad intelectual no es necesariamente negativa. Si vencemos el orgullo infantil de nuestra inteligencia, podemos incluso pasárnoslo en grande conociendo que jamás conoceremos.

Pero, un momento, porque quizá hay una solución.

La simplificación absoluta

Como sabes, todavía no se ha encontrado la teoría que unifique las leyes del universo. Hacerlo es el sueño de muchos físicos, y a esa tarea dedican casi todas las horas del día.

El deseo de unidad está íntimamente ligado a algo que durante todas estas páginas he ido repitiéndote, tal vez hasta hacerme pesado: la sensación de que todo es simplificable, que la complejidad del universo es aparente y que, tras toda esa maraña de datos, partículas, ondas, fuerzas y energías, se halla un cosmos esencialmente simple.

Se trata de un presentimiento, al que podríamos considerar irracional si no fuera porque ha dado invariablemente excelentes resultados. No hay nada que demuestre que las cosas tengan que ser así, pero, siempre que un científico se ha basado en esa suposición, ha logrado generar teorías precisas.

Cuando yo era muy joven, mi padre —tu abuelo— me dijo una vez algo que me sorprendió muchísimo. Él no sabía casi nada de estos asuntos, y yo, con un orgullo infantil por haber leído cuatro libros, le contaba algunas de las cosas que iba aprendiendo. El universo, le explicaba, es enorme y las distancias son gigantescas. Le comenté que todo era muy complicado, pero que me gustaba mucho aprender sobre esas cosas.

Entonces, con el tono de quien dice algo poco importante, me aseguró que en realidad comprender el universo no debe de ser tan difícil, que algún día nos enteraremos de lo que es y nos quedaremos pasmados al comprobar que era un asunto tremendamente sencillo. Tras decir esto, cambió de tema.

Quizá no sea del todo objetivo, pero en aquel instante me pareció una de las reflexiones más profundas que había oído de alguien con quien hubiera conversado. Él no fue jamás consciente de haber soltado una genialidad. La idea de que nuestra dificultad para entender el universo se debe a que, en el fondo, es vertiginosamente sencillo, es muy interesante, y en el fondo es el motor que ha movido siempre a los grandes científicos.

Es algo que se siente. No puede ser tan complejo. Es imposible. ¡Ha de ser tan sencillo! Fíjate, le doy vueltas a lo mismo porque me resulta imposible desarrollarlo. Sólo puedo lanzarlo frase a frase, a trozos, como ráfagas de intuición. Lo noto y dejo de notarlo. Veo con claridad la sencillez que existe en el fondo de las cosas, pero se me va volando no se sabe adónde.

¡Ha de ser tan sencillo, Ulises! Ahora quiero ser yo quien te lo diga. Sólo hay que arrancar el lío que genera la complejidad y allí, como si descorriéramos mil millones de cortinas, aparecerá una ventana perfectamente clara, con cristales limpios y un Sol magnífico detrás.

Es curioso lo mucho que se parece todo esto que te estoy diciendo a ciertas afirmaciones religiosas. Acabo de darme cuenta y lo cierto es que me he asustado bastante de mí mismo. De hecho, he tenido que utilizar mi sentido del humor para no seguir escribiendo en ese tono, porque de lo contrario hubiera terminado levitando sobre el teclado. Pero bueno, quizá tampoco sea tan extraño. Honestamente, creo que hablar así no me convierte en un místico. Quizá es todo lo contrario y los místicos —los de verdad— no sean otra cosa que científicos que no saben que lo son.

Nuestro camino

Has conocido un universo inesperado. El siglo XX fue asombroso en muchos aspectos. En la ciencia se produjeron cambios radicales. El universo que nos imaginábamos a principios de siglo resultó ser algo ingenuo, al menos en comparación con el que conocimos cien años después.

Me han quedado muchas cosas por contarte. A pesar de que creas que te he hablado de muchos científicos, lo cierto es que sólo han asomado por aquí una fracción minúscula de ellos. En el mundo llamado *clásico* tienes todavía un universo por descubrir. Físicos y leyes naturales que ni siquiera te he mencionado (por falta de espacio, pero también, claro está, por mi propio desconocimiento). Y respecto a la ciencia nueva, la que surgió a principios del siglo pasado, son muchas las hipótesis y

los conceptos que no he sabido contarte. Además, no quería que sólo te quedaras con la historia de los descubrimientos. También hay otros asuntos importantes de los que te quiero hablar, y en seguida lo haré.

No sé qué sensación tendrás después de haber leído estas últimas páginas. Probablemente estés aturdido y eches de menos la simplicidad del universo que estudiaban los científicos hasta finales del siglo XIX. Si es así, que sepas que te entiendo mucho. En cierto modo, a mí me ocurre igual. Hay una belleza clásica, de líneas marcadas y nítidas en la física que empezó en la antigua Grecia y que se esfumó con las primeras hipótesis de Max Planck, pero esa belleza no se echó a perder, sino que se transformó en otra distinta por completo.

La de ahora es más difusa, menos intuitiva. Es como la de esas obras de arte en las que se decidió mandar a paseo la representación precisa de la realidad, pero que nos regalan otras emociones igual de válidas.



Filósofo meditando (1631), de Rembrandt.



Joven de la mandolina (1910), de Pablo Picasso.

En el arte seguimos disfrutando de ambas bellezas simultáneamente. Nada impide que nos maravillemos con Rembrandt por la mañana y con Picasso por la tarde. Un artista moderno no invalida a uno clásico. Pero en la ciencia tendemos a pensar que sí.

Eso no es cierto. La belleza de las teorías de Newton, tan cristalina y afilada, no fue anulada por la teoría de la relatividad. Lo que la ciencia anula es la concepción intelectual que acompaña esas teorías, pero no su hermosura. La parte artística que está implícita en cualquier hipótesis física sigue vigente aun cuando esta hipótesis haya sido desmentida o superada.

Además, saber que la belleza es múltiple, que hay varias de ellas, es algo que nos debe llenar de alegría. Leonardo da Vinci decía que el mundo es como una gigantesca esfera y que cada artista corta una rebanada de ella. Hay miles, millones de cortes posibles, y cada uno de ellos nos regala el espectáculo de un nuevo tipo de belleza. Conformarse sólo con una es renunciar, en realidad, a todas.

Te estoy hablando de belleza y sin duda habrás notado que, a lo largo de todo el libro, esta palabra ha estado más o menos presente. No es casual. Los científicos están enganchados a la belleza igual que lo están los artistas. A veces, si entorno un poco los ojos y miro la historia de la ciencia difuminándola ligeramente, viéndola como cuando los miopes nos quitamos las gafas, apreciando sólo esos bultos que simbolizan sus logros, no consigo distinguir si estoy mirándola a ella o a la historia del arte.

Richard Feynman, un físico teórico del que no te he hablado en este libro, pero cuya obra es tan importante como la de los otros que sí he incluido, tuvo en cierta ocasión un ataque de hastío de tanto escuchar a los poetas desprestigiar la ciencia, otorgándose a ellos mismos en exclusiva la capacidad para aportar belleza al mundo. Este científico excepcional (músico y medio humorista), escribió algo estremecedor. Te lo pongo aquí para que conozcas su reflexión:

> Los poetas dicen que la ciencia despoja de belleza a las estrellas, meros montones de átomos de gas. Nada es «mero». También yo puedo ver las estrellas en una noche clara, y sentirlas. Pero ¿veo menos o veo más? La vastedad de los cielos extiende mi imaginación; atado a este carrusel mi ojo puede captar la luz de hace un millón de años. En esta vasta estructura —de la que yo formo parte— tal vez la materia que me constituye fue vomitada desde alguna estrella olvidada, del mismo modo que otra está siendo vomitada allí. O vemos las estrellas con el gran ojo de Palomar, alejándose rápidamente de un punto de partida común en el que quizá iban juntas. ¿Cuál es la estructura, o el significado, o el porqué? Al misterio no le perjudica que se sepa algo sobre él. ¡Pues la verdad es mucho más maravillosa que lo que cualquier artista del pasado pudo imaginar! ¿Por qué los poetas del presente no hablan de ello? ¿Qué clase de hombres son los poetas que pueden hablar de Júpiter como si fuera un hombre, pero deben guardar silencio si es una inmensa esfera de metano y amoniaco en rotación?

Feynman no ha sido el único en quejarse de esa falsa visión de la poesía que destierra la ciencia del campo de la estética. No olvidaré nunca cuando, siendo muy joven, leí un pequeño y sencillísimo ensayo del gran escritor Isaac Asimov en el que pataleaba graciosamente contra una presuntuosa afirmación del poeta Walt Whitman. En uno de los versos de su libro *Hojas de hierba*, afirmaba que los astrónomos no son capaces de captar la armonía que él, con sus limpios ojos, registraba al mirar los cielos. Asimov, como réplica, describe un universo asombroso, lleno de gigantes gaseosos, estrellas que explotan lanzando luz al universo, lunas doradas que giran graciosamente y partículas danzarinas que aparecen y desaparecen en un espacio que se curva con armonía en presencia de las masas. Todas esas cosas, comenta Asimov, han sido descubiertas por la ciencia, y no por los poetas.

En realidad, todos los científicos del mundo, sea cual fuere su especialidad, han terminado comprendiendo que la suya es una actividad al servicio de dos virtudes clásicas: la verdad y la belleza. Y, aunque ahora no esté muy de moda hablar de virtudes, y mucho menos si son clásicas, la realidad es que hasta los investigadores más avanzados siguen abrazando esa virtud doble.

Verdad y belleza. Einstein incluso añadía otra más: la bondad. Esas tres juntas (un trío tan antiguo como el pensamiento) fueron, según sus propias palabras, el principal motor de su vida y de su tarea como científico. Si nos fijamos bien, tal vez las tres puedan ser reducidas a una sola, igual que probablemente todas las partículas diminutas acaben siendo reducidas a la simple y temblorosa cuerda. Quién sabe si *ciencia*, esa palabra que a muchos les resulta antipática, sea el concepto que aglutine mejor que cualquier otro nuestra estupenda tríada.

¿Cuál ha podido ser el origen de este desprecio de las letras hacia las ciencias? Probablemente tiene que ver con los inicios de la experimentación. Trastear las cosas, manipularlas, coger piedras y pesarlas, se asemejaba mucho al trabajo vulgar de las clases bajas, que tenían que ganarse la vida con sus manos y su esfuerzo. Un científico experimentando se parecía, de lejos, a un simple obrero que se ensuciaba las manos con la tierra. En contraste con ellos, los limpísimos poetas escribían odas a una

realidad que no osaban tocar para no mancharse. Con el tiempo, ese origen fue olvidándose, pero quién sabe si el antiquísimo choque entre arte y ciencia se debió a un prejuicio puramente clasista. Es una hipótesis, sin más. Puedo estar radicalmente equivocado, pero algo me hace suponer que tal vez haya algo de verdad en ella.

En este momento, sin embargo, nos tiene que dar igual cuál haya podido ser la causa de esa visión tontísima que hace que separemos las artes de las ciencias, porque sería bueno que nos centráramos en el presente para saber que ahora mismo están mezcladas, que no hay arte sin ciencia ni ciencia sin arte.

Por eso, Ulises, observa la ciencia y su historia como si estuvieras en un gigantesco museo en el que pudieras pasearte disfrutando de cuadros pintados en distintos siglos, y no eches de menos la pureza de los primeros científicos, porque, a pesar de las últimas teorías, sigue conservándose perfectamente intacta.

Te voy a contar una historia de piratas. Con ella llegaremos a plantearnos una profunda hipótesis que afecta por igual al universo y a nosotros mismos.

Barcos y parches en el ojo

En el año 1577, un corsario llamado Francis Drake se embarcó en una expedición por el Pacífico. No fue su primera gran aventura. Con sólo trece años empezó a destacar como marinero. Se paseaba por los puertos y miraba emocionado el mar. Algo le decía que aquello tenía que ser su vida. Era tanta su fascinación por el agua que a nadie hubiese sorprendido que una buena mañana se hubiera despertado con unas escamas y un sistema de respiración basado en las branquias. Antes de cumplir los veinte ya era todo un capitán de navío, pero aquello, que hubiera resultado todo un triunfo para cualquiera, a él le parecía muy poco. Su ambición era absoluta, y se juró a sí mismo que la vida que iba a llevar no pasaría desapercibida. Y lo consiguió. Fue el primer ciudadano inglés en dar la vuelta a nuestro planeta, lo que le llenaba de un orgullo, que se sumaba al que ya tenía de nacimiento.


Francis Drake

Había algo que le gustaba incluso más que el mar: el dinero. Soñaba con océanos y monedas de oro a partes iguales, y el número de aventuras que vivió daría pie a la filmación de varias docenas de películas.

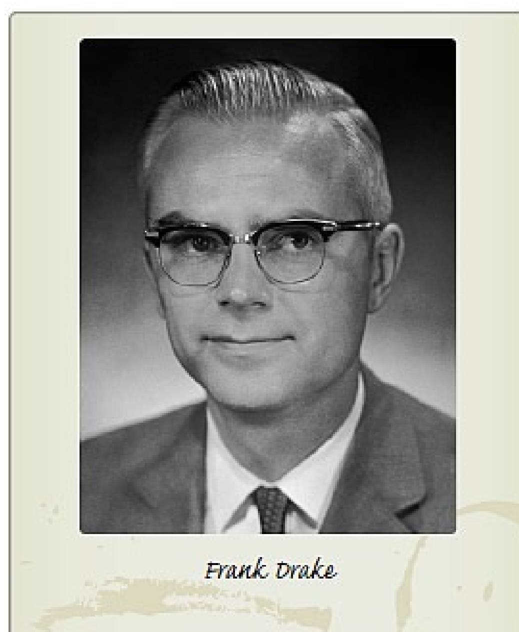
Pero sin duda su expedición de 1577 fue la que le otorgó más fama; para bien y para mal. Los admiradores de tipos malos (hay muchos así) están rematadamente orgullosos con lo que hizo aquel año, pero no así los pobres tipos a quienes asaltó, robándoles la mayor parte de sus riquezas.

Durante toda su vida, consiguió apoderarse de muchos tesoros. Sin duda, su existencia no fue en absoluto aburrida. Trataba por igual con mendigos que con la reina Isabel I y poseía una energía que a cualquier atleta le provocaría una monumental envidia.

Murió tras una derrota en Puerto Rico, aunque se dice que nadie logró matarlo jamás. Lo más probable es que su muerte se debió a una extraña enfermedad.

Me imagino a ese pirata mirando el cielo estrellado en las noches tranquilas, mientras navegaba. No sé si alguna vez se planteó, aunque sólo fuera durante una diminuta fracción de segundo, que tal vez ahí arriba, en algún punto lejanísimo del firmamento, pudiera haber otros piratas habitando remotos planetas, y otras reinas con extrañas formas, y marineros con aspecto rarísimo, y tesoros deslumbrantes que él no podría ni siquiera imaginar. Nunca sabremos si llegó a hacerse esas preguntas, pero sería estupendo que lo hubiera hecho. Ahora sabrás por qué.

Este señor de aspecto bondadoso y cándido afirma ser descendiente del famoso pirata Francis Drake. Suele decirlo lleno de orgullo y a mí, personalmente, me apetece muchísimo creerlo.



Él no asalta barcos, aunque de algún modo su actividad tiene una ligera resonancia con todo eso, y su interés desde hace muchísimos años es encontrar el tesoro más escondido del universo.

Su nombre es Frank y su apellido, obviamente, Drake. Es un astrónomo extraordinario que colaboró en la fundación del famoso proyecto SETI (Search for Extra Terrestrial Intelligence), relacionado con la búsqueda de inteligencia extraterrestre. A pesar de esta última frase, aparentemente alejada de la ciencia, los trabajadores del SETI son investigadores perfectamente rigurosos.

En los años sesenta del siglo XX, Drake ideó una fórmula matemática muy sencilla gracias a la cual realizó unos cálculos con el fin de averiguar la posibilidad de que existieran civilizaciones inteligentes en otros planetas. Tal vez te sorprenda que con la ayuda de las matemáticas pueda llegar a estimarse una cosa así, pero en realidad no se trata de un asunto excesivamente complicado.

La idea es muy clara, y la vas a entender en seguida. Mira esto:

$$N = E \cdot P \cdot T \cdot V \cdot I \cdot T \cdot C$$

Parece una palabra latina esculpida en piedra, pero en realidad se trata de las iniciales que he colocado para representar posibilidades de que algo ocurra. Ahora lo entenderás.

La letra *N* es el número de civilizaciones tecnológicas extraterrestres que podría haber en nuestra galaxia. El resto de las letras situadas en la parte derecha de la ecuación significan lo siguiente:

E: Número de estrellas en la Vía Láctea.
P: Fracción de esas estrellas que tienen planetas.

T: Fracción de esos planetas que están situados a una distancia adecuada de su Sol para que pueda ser habitable (si el planeta está muy cerca, como Mercurio en nuestro sistema solar, la vida no sería posible y, si está demasiado lejos, la temperatura sería tan fría que la vida resultaría allí un asunto demasiado complicado).

V: Probabilidad de que la vida aparezca en un planeta bien situado.

I: Probabilidad de que la vida termine convirtiéndose en vida inteligente.

T: Probabilidad de que esa vida inteligente desarrolle tecnología.

C: Probabilidad de que esa vida inteligente y tecnológica pueda sobrevivir sin decidir echarlo todo a perder destruyendo su planeta.

Para averiguar cuántas civilizaciones inteligentes con una tecnología desarrollada puede haber en la Vía Láctea, tan sólo tenemos que multiplicar los números que pertenecen a cada una de estas variables.

En la Vía Láctea hay alrededor de 200.000 millones de estrellas. Ése es un buen número para empezar. El problema es que, cuando vamos multiplicando este número por la probabilidad de que se den el resto de las condiciones, la cifra baja considerablemente.

Cuando Frank Drake realizó la primera estimación, obtuvo que pudieran existir diez civilizaciones tecnológicas extraterrestres en nuestra galaxia. Algunos consideraron que el cálculo era demasiado optimista, mientras que otros aseguraban que se había quedado corto.

Han pasado varios años y muchas cosas desde que Drake realizó ese primer cálculo. Se ha aprendido mucho sobre el origen de la vida y las condiciones que deben darse en un planeta para que pueda resultar habitable. Aplicando estos nuevos conocimientos, obtenemos otros números, pero aun así las discrepancias son muchísimas. Los resultados van desde dos civilizaciones hasta miles de ellas, dependiendo del valor que le demos a esas extrañas letras que se multiplican en la ecuación.

En este caso, yo tampoco tengo la más remota idea de por dónde pueden ir los tiros. Resultaría fácil dejarse llevar por la ilusión y especular al alza, afirmando que estamos rodeados de magníficos seres cargados de inteligencia, pero la ciencia nos enseña una y otra vez a no interpretar la realidad en función de nuestros deseos e intuiciones. Sin embargo, te diré al oído algo: estoy plenamente convencido de que *el universo está lleno de ellos*.

Pero no me interpretes mal. El hecho de estar convencido emocionalmente de la existencia de civilizaciones extraterrestres no implica en absoluto defender el fenómeno ovni. El proyecto SETI nada tiene que ver con el asunto de las abducciones, ni con esas historias que una voz pretendidamente hipnótica nos cuenta en los programas nocturnos de misterio. No puedes hacerte una idea de cuántos embustes se lanzan por segundo acerca de estos asuntos. Miles de personas viven de asegurar sin ningún rigor que estamos siendo visitados de forma permanente por seres del espacio. En esta afirmación no hay, en sí misma, nada negativo. El problema es el método que se emplea para abordarla. El escepticismo, la duda, la observación continuada, la

experimentación rigurosa, todo aquello que la ciencia utiliza a diario en sus tareas y que nos ha regalado lo que en este libro te he ido contando, no es tenido en cuenta por quienes, desde radios y revistas, se presentan a sí mismos como expertos internacionales en el fenómeno ovni. Nunca, jamás, ningún científico serio, utilizando su exigente método, ha afirmado que un avistamiento ovni se haya producido realmente. Hasta el momento, todas las historias que se cuentan de contactos con seres de otros planetas no han podido ser confirmadas. Por ahora, y a falta de más evidencias, continuamos estando solos.

Seguramente estarás pensando que soy algo rígido en este asunto, que tal vez debería tener la mente sanamente predispuesta a aceptar las historias que muchos testigos narran sobre experiencias con tipos llegados de otros mundos. Pensarás que mi simpatía por la ciencia me ha vuelto poco objetivo, convirtiéndome en enfermizamente partidista. Si es eso lo que opinas, creo que será bueno que nos demos un tranquilo paseo por el mundo de lo paranormal, porque haciéndolo descubrirás un método infalible para saber si una afirmación es científica o si se trata de una rematada chifladura. Creo que de esta manera compartirás mi apasionado escepticismo.

Los misterios están aquí

El método del que te hablo es tremendamente eficaz. Cualquier afirmación que se haga —y no sólo en la ciencia— debe ir acompañada de pruebas. No hacerlo así supone, entre otras muchas cosas, una falta de respeto a todas las personas de las que te he ido hablando en este libro. Ellos aportaron al mundo conocimientos muy valiosos, y lo hicieron con esfuerzo y muchas horas de trabajo. Siempre que tenían una idea, cualquiera que fuera y por muchísimo que la apreciaran, la sometían invariablemente a todas las pruebas que eran capaces de imaginar y, si al final se veían obligados a rechazarla, lo hacían sin ningún miramiento.

Piensa, por ejemplo, en la teoría del éter. Los científicos, como te dije, adoraban esa sustancia, pero cuando Einstein demostró que no era en absoluto necesaria, se aceptó la nueva realidad y el éter desapareció para siempre.

Estas pruebas, además, no debe hacerlas una sola persona. Eso podría dar lugar a suspicacias. Existen muchos motivos por los cuales un científico puede declarar públicamente que su teoría ha sido confirmada cuando en verdad no es así. Son humanos y la vanidad también está presente en ellos. Por ese motivo, ha de ser toda la comunidad de científicos quienes hagan esas pruebas, y además el número de veces que consideren oportuno.

Pero incluso antes de realizar las pruebas, no todas las ideas e hipótesis tienen el mismo valor de partida. Deben tener una característica inicial perfectamente clara: no pueden entrar en contradicción con lo que se sabe que ocurre. Si, por ejemplo, mi teoría es que los objetos no son atraídos en absoluto por la gravitación de la Tierra, ya no resulta preciso que nadie se moleste en realizar experimentos.

Existen muchos otros métodos para saber si una afirmación debe ser tenida o no en cuenta, pero aunque sólo utilices estas dos, ya podrás descartar multitud de ideas que se oyen a todas horas por ahí.

Al iniciar esta obra te ponía como ejemplo de hipótesis no científica la siguiente afirmación: «Siempre que un ser humano ansía algo, el universo entero le ayuda a conseguirlo.» Te aseguro que, por increíble que te parezca, muchas personas se toman esta frase tremendamente en serio. Ahora tú, con tus nuevas herramientas para decidir si algo es o no científico, puedes ver con facilidad que se trata de una gran chifladura, porque, ¿qué experimentos se han hecho para confirmar esta hipótesis? ¿Quién los ha realizado? ¿Qué científicos han participado? ¿En qué ha consistido el experimento con exactitud? ¿Acaso han encerrado en un laboratorio a cien mil personas, les han hecho apuntar en un papel sus deseos más profundos y luego han observado cómo el universo, amable y benefactor, iba concediéndoselos uno a uno? Como es lógico, no. Se trata, tan sólo, de una afirmación gratuita, poética y astutamente diseñada para regalar los oídos.

Hay cientos de frases así, proposiciones acerca de la realidad que se dan por válidas, pero que jamás han sido analizadas con rigor por nadie. Quedan bien, eso es todo. Huelen a verdad absoluta, a secreto escondido, a maravilla cósmica, pero se vienen abajo en cuanto uno se toma la molestia de aplicar la herramienta de los científicos. Pero no creas que la utilización de este método resta poesía a la realidad. Es un error muy difundido pensar así. Tenemos la idea de que la ciencia, fría y rígida, barre la belleza sentimental del mundo, dejándonos un universo austero y sin sentido del misterio.

La realidad es precisamente la contraria. Los misterios más hondos se dan en la naturaleza, sin que tengamos que ir más allá. Por ejemplo, a muchas personas les fascina que pueda existir una enigmática capacidad mental para ver el futuro, cuando lo realmente asombroso es que podamos ver el presente. El hecho de que tú, ahora mismo, con sólo alzar la vista, puedas contemplar el techo, o que al mirar por la ventana puedas ver pasar los coches o notar cómo cambian de color las aceras en función de las nubes que se encuentren en el cielo, o que seas capaz de mirarme mientras te miro, es mucho más inquietante que esa presunta y no demostrada cualidad para ver el futuro. O pensemos en uno de los temas estrella del mundo paranormal: poder hablar con los muertos. ¿Acaso no es más impresionante que podamos hablar con los vivos? O mover objetos con el poder de la mente, la famosísima telequinesia, concentrándonos ridículamente frente a un bloque de mármol, ¿no queda eclipsado eso por el hecho, real y constatable, de que podamos mover objetos con las manos?

El mundo real, aunque no sepamos qué rábanos es, ese mundo magnífico que la ciencia intenta describir con precisión, tiene ya los suficientes elementos de misterio como para que necesitemos añadir alguno más. Siempre he pensado que la fascinación por lo esotérico simboliza nuestro profundo y tristísimo desprecio por la realidad. Y, sin esa fascinación, no habría ciencia, ni hubiéramos descubierto que la electricidad y el magnetismo son la misma cosa, ni que algo similar podemos decir del espacio y del tiempo, y jamás se habrían producido esos vuelcos en el corazón de Faraday, o los

pinchazos de alegría en el estómago de Einstein cuando empezó a comprender que la naturaleza encajaba fantásticamente bien con las leyes que él mismo había pronosticado con la ayuda tan sólo de un lápiz y un papel.

Y lo mejor de todo es que no es preciso ser un científico para aplicar inteligentemente su método, porque éste es común a todos, nos pertenece. Son unas reglas básicas que no han sido ni dictadas ni inventadas por nadie, sino extraídas poco a poco y con la ayuda de muchos.

Cuando uno adquiere cierta destreza a la hora de analizarlo todo con el método científico, en seguida empiezan a aflorar por todas partes argumentos disparatados. Antes de hacerlo, parecían frases con apariencia verosímil, pero tu nueva herramienta, Ulises, es demoledora. Ampliará tu visión del mundo y te harás maravillosamente más crítico.

Pero te sentirás solo en muchísimas ocasiones. Los demás considerarán que tu cerebro debería abrirse más, porque —dirán— tienes *la mente cerrada*, una expresión feísima y antiestética, utilizada de modo continuado por los que abrazan con efusividad la pseudociencia. Dirán de ti que estás lleno de prejuicios, pero tú no hagas demasiado caso, de verdad. Es fácil dejarse llevar y creer que tienen razón los que te califican así. Hay que ser fuerte para darse cuenta de que la realidad es precisamente al revés. Los prejuicios suelen estar al otro lado. La historia de la ciencia no es otra cosa que la historia de la lucha contra el prejuicio. La física, la astronomía, la biología, cualquiera de las ciencias que podrás aprender si lo deseas cuando seas mayor, son todas ellas herramientas del juicio, no del prejuicio.

Pero no sólo puedes aplicar este método fabuloso a las afirmaciones con barniz científico, sino a cualquier tipo de declaración, desde las que pronuncian tus amigos hasta las que sueltan a todas horas los políticos y los medios de comunicación. Cuando estés ante cualquier comentario, venga de donde venga y lo diga quien lo diga, independientemente de su prestigio, pregúntate dónde están las pruebas. La ciencia no se hace sólo en los laboratorios. Es una cosa de todos.

Si has sido un lector atento —y no dudo de que así haya sido—, tal vez tengas ganas de señalarme algo que puede parecer contradictorio. Te hablé, por ejemplo, de la hipótesis del multiverso, esa idea loca que asegura que nuestro universo no sería más que uno entre millones de ellos. Te garanticé entonces que se trata de una teoría *no confirmada*, pese a lo cual le di una validez perfectamente científica. ¿Por qué? ¿No entra eso en conflicto con uno de los puntos fundamentales del método científico que acabas de aprender, ese que asegura que hemos de lanzar a la papelera todas aquellas ideas que no hayan sido probadas? Aparentemente sí, pero sólo a un nivel superficial. El multiverso no ha sido confirmado en ningún laboratorio del mundo, claro está, pero fue un modelo propuesto para dar razón de algo que sí había sido observado. Se trata de una explicación plausible de la realidad, y podría ayudar a clarificar la confusión existente a la hora de entender por qué las constantes naturales son las que son y no otras totalmente distintas.

En cambio, las afirmaciones paranormales no ayudan a aclarar confusiones, sino que confunden aclaraciones. No se trata sólo de un simétrico juego de palabras; es una descripción de los hechos. Para entenderlo mejor, piensa que una teoría tan

sistemáticamente confirmada como la relatividad especial fue, en su origen, sólo una hipótesis no confirmada, y eso no llevó a ningún científico a considerarla una mera superchería, con la tristísima excepción de algunos científicos que simpatizaban con Hitler, a quienes les daba una rabia tremenda que Einstein fuera judío. El resto de los científicos la tomó muy en serio antes de que cualquier experimento la validara, porque estaba confeccionada siguiendo los esquemas de la ciencia, y su rigor y elegancia eran incuestionables.

Alegría

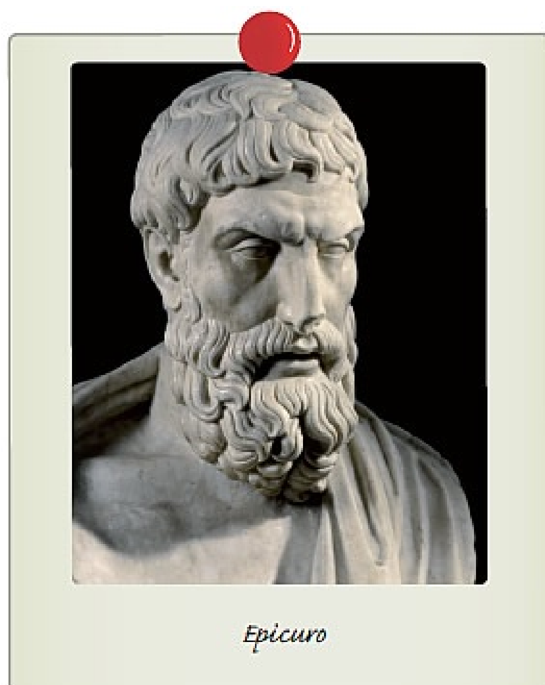
Este método, además, genera alegría. Puede parecerte una afirmación algo rebuscada y planteada sólo con la finalidad de animarte, pero te aseguro que te digo la verdad. Saber que tienes a tu alcance la misma herramienta que fue usada por los hombres y mujeres que han ayudado a que el mundo en el que vivimos sea un poco más comprensible puede llenarte de felicidad. No estoy exagerando. A mí me ayuda a sentirme mejor, provocando que me imagine conectado a una difusa inteligencia lejana, antigua, la misma que operaba en el cerebro fantástico de Demócrito y en el de todos los que aprendieron obstinadamente de él. Somos un equipo, todos juntos, y hacer ciencia no es una actividad exclusiva de los laboratorios. Apoyarla, mimarla, defenderla de los que la emplean de modo interesado, es otra forma de colaborar en esta empresa antigua y gigante. Cada vez que alguien suelta una tontería y tú la desmontas utilizando argumentos racionales, te conviertes en un científico, en un pequeño Einstein.

La alegría es algo muy unido a la compañía, al contacto con los otros. A pesar de que suela decirse que la soledad es maravillosa, que es en ella donde nos encontramos a nosotros mismos y donde podemos de verdad ser tremendamente dichosos, lo cierto es que sólo notamos felicidad verdadera si compartimos cosas con los demás. Buscar algo hermoso para compartir es, pues, el mejor modo de empezar a ser felices. Y puestos a buscar ese *algo*, ¿por qué no hacerlo en lo que, sistemáticamente, ha dado excelentes resultados? La ciencia es lo mejor que se nos ha ocurrido hasta el momento: cura enfermedades, alivia sufrimientos y nos hace la vida más agradable. Pero, aunque no tuviera ninguna aplicación práctica, el simple hecho de ayudarnos a conocer un poco este rematadamente insólito universo ya sería suficiente. El conocimiento por el conocimiento, el querer saber por el simple hecho de querer saber es, en cierto modo, otra forma de aplicación. Lo poco práctico puede resultar ser, bien mirado, lo más práctico que existe.

Una vez que logres cierta experiencia en el manejo del método científico, no podrás abandonarlo nunca más. Las alegrías que te aportará serán tremendas y, lo que tal vez es más importante, conseguirás alegrar también a los que tienes a tu alrededor.

Hubo un filósofo magnífico, tremendamente listo y amable, que vivió en Grecia hace aproximadamente dos mil quinientos años. Se llamaba Epicuro y, entre otras actividades fantásticas, montó una escuela en su jardín. A ella podían acudir también las mujeres, un hecho bastante insólito tanto entonces como en los engorrosos siglos que fueron llegando después. En su escuela-jardín, Epicuro enseñaba este mismo método que yo no dejo de elogiar.

Reunía a sus discípulos entre las flores. Si hacía mucho sol, se sentaban en una piedra bajo la sombra de un árbol y charlaban. Podían pasarse muchas horas así, porque recibir lecciones de ese maestro no era nada pesado.


Epicuro

Epicuro quería que el mundo fuera algo mejor. Su principal procedimiento para lograrlo era eliminar miedos. No parece una mala idea. Estaba convencido de que lo que nos hace infelices son los temores. Tememos a la muerte, al dolor y, en aquella época, se tenía auténtico pavor a los dioses, quienes no eran precisamente amables.

Nuestro sabio fue consciente, como muy pocos lo han sido, de que la razón era la mejor arma para vencer los miedos. Aseguraba a sus discípulos que, si empleaban su cabeza liberándola de ideas no demostradas, notarían de inmediato una especie de amable felicidad. Para desterrar el miedo a los dioses, ¿por qué no desterrar, directamente, a los propios dioses? ¿Qué razón había para creer en ellos? Nadie parecía haberlos visto. Sus discípulos, pese a que fueran interrogados, nunca podían afirmar honestamente que hubieran observado alguno. Sentir terror por ellos era, pues, algo perfectamente absurdo.

Epicuro, sin embargo, no negó la existencia de esos seres superiores. Sólo decidió actuar como si no estuvieran. Afirmaba que él no tenía ni idea acerca de si eran reales o no, pero su experiencia le demostraba que, de existir, no se ocupaban en absoluto de nosotros. ¿Qué diferencia podía haber, por tanto, entre dioses que no existen y dioses existentes pero que están siempre desconectados? Ninguna, como es obvio. Esto es un

ejemplo de pensamiento científico, libre de prejuicios. Puede parecer una reflexión trivial, pero gracias a ella sus discípulos del jardín pudieron ser algo más felices, eliminando el miedo que tenían al comportamiento arbitrario de unos seres poderosísimos que, si les apetecía, podían fulminarte con un rayo.

Nuestros miedos actuales, aunque pensemos que son distintos a los que padecían nuestros antepasados de hace dos mil quinientos años, son en realidad bastante similares. La inmensa mayoría de ellos dependen de reflexiones irracionales: terror al futuro, sentimiento de angustia por recuerdos pasados; ésos son parte de los dioses modernos que forman la inmensa galería de nuestra teología laica. Para mandarlos a paseo, sólo hemos de emplear la razón, analizarlos uno a uno, directamente y sin prejuicios. Si lo llevamos a cabo, notaremos al instante que empiezan a desaparecer.

Lo que te he descrito en este libro es, claro está, sólo una parte de la ciencia. No te he hablado de medicina, ni de geología, ni del insólito comportamiento de las hormigas, ni siquiera hemos echado un vistazo a la complejidad de la vida que hay en el fondo del mar. El 99 por ciento de la ciencia no ha sido ni siquiera nombrada aquí, aunque sin duda también forma parte del estudio del universo. No has hecho más que empezar.

Al principio de esta obra hablaba de dos historias de amor. La ciencia también se construye en función de ese sentimiento. Si hay personas que estudian durante toda su vida la formación de las montañas es porque están de alguna manera enamoradas de ellas. Ninguna actividad intelectual puede ser ejercida durante tanto tiempo si no hay amor.

Pero la ciencia no nos ha explicado exclusivamente por qué giran los planetas, de qué narices están hechos, cuál es la causa por la que brillan los campos alumbrados por el Sol o el intrincado motivo por el que la materia y la energía son perfectamente intercambiables. Nos explica, también, cómo podemos ser ligeramente más felices.

Es fácil tener un jardín como el de Epicuro. No es necesario siquiera que sea real, ni hacen falta las flores ni las piedras bajo los árboles para sentarnos. Basta con cerrar los ojos, abstraerse de todo, abordar los asuntos como si fuéramos Newton y, de repente, empezaremos a encontrarnos un poco mejor.

Dice el tópico que la inteligencia y la felicidad son incompatibles. Cada día, a todas horas y en todo el mundo, cientos de miles de personas afirman que si eres muy listo no puedes ser del todo feliz, que la dicha es cosa de tontos. Se trata de una afirmación que, de nuevo, no soportaría ningún análisis riguroso. ¿Cómo diablos se ha llegado a esa conclusión, tan insistentemente repetida hasta la náusea? ¿Qué encuesta se ha hecho, a cuántos listos-tristes y a cuántos tontos-felices han analizado para llegar a esa tremenda sentencia? ¿Se ha hecho alguna vez un experimento riguroso al respecto, efectuado bajo un control estricto? ¿Cómo se ha hecho, en función de qué criterios? ¿Se han publicado los resultados en alguna revista seria, ha habido simposios rigurosos al respecto? Evidentemente, no. Pocos pensamientos son tan absurdos como éste. En realidad, Ulises, la inteligencia alegra. La razón quita angustias, y eso ha resultado ser algo perfectamente verificable a lo largo de los siglos. Ésa es la enseñanza que el viejo Epicuro comunicaba a sus amigos en un soleado

jardín, y la de todos los científicos que han desfilado por aquí. También la que yo, humildemente, he querido comunicarte en este libro. Razona y sé feliz. No se me ocurre otro consejo mejor que regalarte en la vida.

El universo para Ulises
Juan Carlos Ortega

Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)
www.editorial.planeta.es
www.planetadelibros.com

Primera edición en libro electrónico (epub): junio de 2013

ISBN: 978-84-08-11730-8 (epub)

Conversión a libro electrónico: Newcomlab, S. L. L.
www.newcomlab.com

Table of Contents